

# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

2024 –  
alles wird  
leichter  
Trends im  
Leichtbau

## Jahrhundert- Gifte PFAS

Auswege für Wasser,  
Wirtschaft, Welt

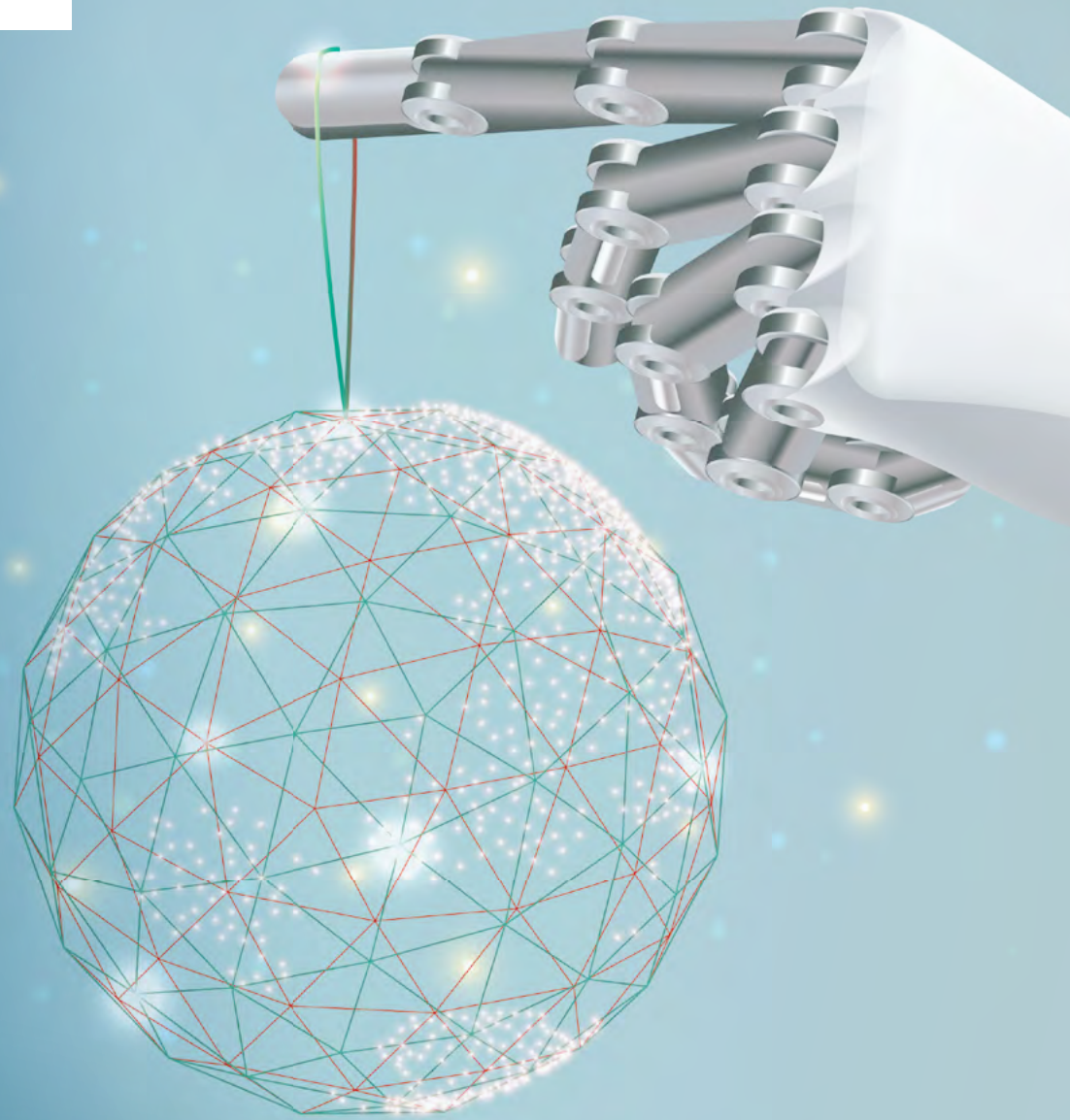
Dr.-Ing. Georg Umlauf,  
Fraunhofer IGB, weist  
den Weg in Richtung  
sauberes Wasser.

»Pragmatismus  
statt Brechstange«  
Ein Plädoyer von Dr. Martin  
Brudermüller, BASF SE

»Ich fühle mich wie  
Knecht Ruprecht«  
Bundesfinanzminister  
Christian Lindner im Interview







Season's Greetings

---

Today's ideas.  
Tomorrow's innovations.

## Editorial

# Für Wirtschaft und Zukunft

Von Prof. Holger Hanselka

»Bei Fraunhofer werden die Lösungen für die zentralen Herausforderungen unserer Zeit entwickelt.« So sagte es Senatsvorsitzende Hildegard Müller bei meiner feierlichen Amtseinführung. Von der Veranstaltung werden mir viele freundliche Worte im Gedächtnis bleiben, dieser Satz ganz besonders. Er ist nicht nur Anerkennung für unsere Fraunhofer-Gesellschaft. Er ist auch Auftrag und Ansporn für uns alle.

**Entscheidend für den Erfolg** der Fraunhofer-Gesellschaft ist die konsequente Marktorientierung. Der Auftrag von Fraunhofer ist ganz klar der Transfer in die Wirtschaft. Als gemeinnützige Organisation ohne Gewinnerzielungsabsicht unterstützt Fraunhofer Unternehmen bei der Entwicklung neuer Technologien bis zur Markteinführung – insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, die mehr als die Hälfte des Kundenstammes ausmachen. Unser Kerngeschäft ist dabei die Vertragsforschung mit der Industrie sowie die Vergabe von Lizenzen und Patenten, aber auch Ausgründungen spielen eine wichtige Rolle.

375 Patentanmeldungen hat Fraunhofer im Jahr 2022 auf den Weg gebracht, 443 Erfindungen angemeldet, 7414 aktive Patentfamilien ausgezählt. Das sind Zahlen, auf die wir stolz sind und auf die unsere mehr als 30 000 Mitarbeitenden zu Recht stolz sein können. Dahinter steckt viel Wissen, viel Können, viel Leidenschaft. Dahinter steht aber auch, was Fraunhofer in Deutschland und der Welt so einzigartig macht: das Fraunhofer-Modell. Durch seine ausgewogene Zusammensetzung aus Wirtschaftserträgen, öffentlichen Erträgen und Grundfinanzierung garantiert es die Marktorientierung unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeit und damit den Impact, den wir leisten können.

**Ich kann versichern**, dass es ein Schwerpunkt meiner Amtszeit als Präsident sein wird, die Stärkung der Wirtschaft voranzutreiben. Nur die wirtschaftliche Stärke in Deutschland und Europa wird uns die Möglichkeit verschaffen, eine lebenswerte Zukunft zu gestalten. Hier geht es um die konsequenten Schritte, die sich zu den großen Fortschritten summieren. Machen wir es konkret: Wenn die Europäische Chemikalienagentur ECHA die sogenannten Ewigkeitschemikalien PFAS verbieten will, dann ist das ein großes



Prof. Holger Hanselka

Ziel. Jedoch sind die per- und polyfluorierten Alkylverbindungen in zahllosen Alltagsprodukten, aber auch in zukunftsweisenden Techniken wie Wärmepumpen, Batterien und Medizintechniken bislang kaum zu ersetzen. Die Titelgeschichte dieses Fraunhofer-Magazins berichtet darüber, an wie vielen kleinen und großen Stellschrauben Fraunhofer-Forschende drehen, um die Industrie auf diesem schwierigen, aber wichtigen Weg zu unterstützen.

**Die Herausforderungen der Zukunft** werden wir nur im Schulterschluss von Wirtschaft, Politik und Forschung bewältigen können. Deshalb freue ich mich sehr, wenn in der aktuellen Ausgabe dieses Fraunhofer-Magazins Dr. Martin Brudermüller, der Vorstandsvorsitzende des weltweit umsatzstärksten Chemiekonzerns BASF SE (und Alumnus des KIT), so leidenschaftlich für eine wettbewerbsfähige Chemieindustrie und mehr Technologieoffenheit plädiert. Und ich freue mich, wenn Bundesfinanzminister Christian Lindner im Interview mit diesem Magazin versichert: »Es schmerzt mich nicht, Mittel einzusetzen – wenn sie gut in die Zukunftsfähigkeit des Landes angelegt sind.«

Lassen Sie uns alle zusammenarbeiten, Forscherinnen und Forscher, Politikerinnen und Politiker, Verantwortliche aus der Wirtschaft. Bringen wir mit unserer Forschung die Wirtschaft in die Zukunft.

Ihr

Prof. Holger Hanselka  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

## Inhalt



## 28 »Quellen des Wohlstands erschließen«

Für Bundesfinanzminister Christian Lindner gehen Krisenbewältigung und Zukunftsgestaltung Hand in Hand.

## 38

### Titel

## Jahrhundert-Gifte PFAS

PFAS gefährden unser Wasser. Wie lassen sich die Ewigkeitschemikalien in Produkten und Prozessen ersetzen?

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

26 Stimme aus der Wirtschaft

Dr. Martin Bruder Müller, Vorstandsvorsitzender BASF SE

28 »Ich möchte den Blick nach vorne richten«

Im Interview: Bundesfinanzminister Christian Lindner

32 Effizient? Ultraeffizient!

Mit Ressourcen besser haushalten in der Ultraeffizienzfabrik

## 10

### Leichtbau

## Weniger ist besser

Masse und Ressourcen einsparen, Effizienz und Funktionen ausbauen: Fraunhofer-Forschende wie Prof. Holger Seidlitz wollen die Potenziale des Leichtbaus heben.

10 Alles wird leichter, weil wir Dinge leichter machen

Durch eine Vielzahl innovativer Ansätze sollen Bauteile und Produkte an Gewicht verlieren – und dadurch günstiger sowie nachhaltiger werden

19 Leicht und leise mit vibroakustischen Metamaterialien

Werkstoffe mit speziellen Fähigkeiten befrieden den Konflikt zwischen Massenverlust und Lärmschutz

53 Beton mit einem Herz aus Flachs

Ausgerechnet zarte Flachsfasern könnten Betonbauten künftig verstärken





**35 Staffellauf des Wissens, Folge 10**

Was ist bei der Lebensmittel-Versorgung wichtiger: Nachhaltigkeit oder Sicherheit und Qualität, Frau Prof. Büttner?

**38 PFAS – erkennen, ersetzen, entfernen**

Giftige PFAS sollen europaweit verboten werden. Die Probleme für die Industrie sind gewaltig

**48 KI made in Germany: Mehr Mut!**

Fraunhofer-Forschende arbeiten an einer europäischen Alternative zu ChatGPT und Co

**50 Das XXL-Müllproblem**

Windkraftanlagen werden immer größer. Was passiert mit ausran-gierten Rotoren?

**54 »Mangelnde Sicherheit ist kein Kavaliersdelikt«**

Wie sicher ist das Smart Home?

**58 Lass uns reden**

Wie digitale Sprachanalyse bei der Erkennung von Krankheiten hilft

## 80 Hüter des Mikroben-Schatzes

Im Fraunhofer IME lagert eine der weltweit größten Sammlungen von Bakterien und Pilzen mit riesigem Potenzial für die Bekämpfung von Krankheiten.



## 68 Schoko-Genuss ohne Abstriche

An einer zartschmelzenden Schokolade ohne Milch arbeiten Forschende am Fraunhofer IVV.

**60 Mehr Salz im Meer?**

Die Klimaerwärmung ändert die Salinität der Ozeane

**62 Damit es nicht ins Auge geht**

Augenverträglichkeit im Reagenzglas testen statt mit Tierversuchen

**64 Hightech gegen Minen**

Sprengfallen mit weniger Risiko entschärfen

**68 Schoko-Genuss ohne Abstriche**

Eine süße Gaumenfreude für alle, die auf Milch verzichten

**70 Schicht für Schicht klare Sicht**

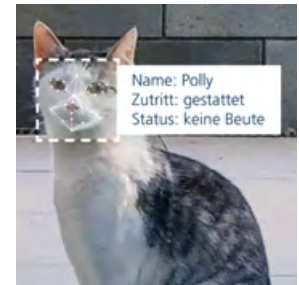
Ein neues optisches Schichtsystem hilft gegen Beschlagen

**72 Fraunhofer international****74 Das Leben ist süß**

Wunderwerk Zucker: Die Glykobiotechnologie eröffnet neue Möglichkeiten

**76 Künstliche Intelligenz für eine bessere Medizin**

Krebs schneller erkennen und effizienter behandeln – dank KI



Name: Polly  
Zutritt: gestattet  
Status: keine Beute

86

## Das Polly-Projekt

Kein Zutritt für fremde Tiere dank intelligenter Katzenklappe.

**79 Date mit der Forschung**

Mit der Fraunhofer-Match-Plattform ganz einfach den passenden Projektpartner finden

**80 Hüter des Mikroben-Schatzes**

Fraunhofer-Expertinnen und -Experten forschen an Naturstoffen, die heilen können

**83 Von der Socke zur Sicherheit**

Wie Hightech älteren Menschen das Leben leichter macht

**84 Foto & Fraunhofer**

Was verbirgt sich im Inneren eines Astronauten-Overalls?

**86 Das Polly-Projekt**

Forschende am Fraunhofer IDMT entwickeln eine Katzenklappe mit Gesichtserkennung

**87 Fraunhofer vor Ort**

**Mehr als 1500 Orte** sind in Deutschland mit PFAS kontaminiert, davon werden rund 20 Prozent im »Forever Pollution Project« als Hotspots eingestuft. In dem Projekt wurden insgesamt 100 Datensätze aus ganz Europa gesammelt und ausgewertet. Eine wichtige Quelle für Deutschland: die SumPFAS-Studie des Fraunhofer IME.

# 20%

## Kurz gemeldet



Moderne Isolierfenster sind nicht nur eine Barriere für Wärme und Sonne, sondern auch für Funkwellen.

## Besserer Handyempfang in Gebäuden

Fraunhofer-Forschende haben Isolierglas durchlässiger für Mobilfunkwellen gemacht. Dafür entfernten sie aus der wärmedämmenden Schicht mit einem Laser 50 Mikrometer breite Streifen. Das so entstandene, nahezu unsichtbare Rastermuster lässt die langen Funkwellen passieren, während es die kurzwelligere Wärmestrahlung zurück ins Gebäude reflektiert.

In einer Prototyp-Fassade erprobten und bewerteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE verschiedene Arten und Konfigurationen von funktransparenten Verglasungen. Dabei stellten sie eine Erhöhung des übertragenen Signals um den Faktor von 100 bis 100 000 fest. Die maximale LTE-Download-Geschwindigkeit konnte um mehr als den Faktor 50 gesteigert werden.

Die Lösung ist für Wärme- und Sonnenschutzschichten in Doppel- und Dreifachverglasungen im Baubereich sowie im Automobilbereich einsetzbar. Die Industriepartner des Fraunhofer ISE, Arnold Glas und isophon glas, bieten das Produkt bereits auf dem Markt an. ■

## Sicherer Start ins neue Leben

Mit einem intelligenten Pflaster lässt sich die embryonale Entwicklung im Mutterleib in Zukunft kontinuierlich überwachen. Das biokompatible, dehnbare und flexible Patch soll auf der Haut aufgebracht werden, mit hochempfindlicher Sensorik Vitaldaten aufzeichnen und via Bluetooth an ein Endgerät, beispielsweise ein Smartphone, übermitteln.

Die Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM setzen beim integrierten Patch auf Thermoplastische Polyurethane (TPU) als Basismaterialien, in die Elektronik und Sensorik eingebettet werden. So entspricht das Tragegefühl einem handelsüblichen Pflaster.

Damit das permanente geburtsmedizinische Monitoring bequem für die

Schwangere und das Ungeborene verläuft, planen die Forschenden im Projekt Newlife, innovative Ultraschallsensoren auf MEMS-Basis direkt in das TPU-Material zu integrieren. Über unmittelbaren Hautkontakt sollen die miniaturisierten Sensoren Daten aufnehmen. Dehnbare Leiterbahnen aus TPU leiten die Informationen dann zur Auswertungs elektronik und abschließend zu einer drahtlosen Schnittstelle weiter, sodass Ärztinnen, Ärzte und Hebammen alle relevanten Daten in einer App einsehen können. Zusätzlich zum Ultraschall planen die Forschenden, auch Mikrofone, Temperatursensoren und Elektroden einzubauen. In Zukunft sollen die Sensoren auch in Babykleidung integriert werden, um das medizinische Monitoring von Neugeborenen zu verbessern. ■

Herkömmliche Vorsorgeuntersuchungen zeigen nur Momentaufnahmen. Mit einer dauerhaften Überwachung lassen sich Risiken minimieren.





## Vom Ausnahmezustand zum »New Normal«

Wie hat sich unsere Arbeitswelt nach Corona entwickelt? Das untersucht eine neue Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und der Deutschen Gesellschaft für Personalführung e.V. (DGFP). Die Ergebnisse zeigen: Hybrides Arbeiten ist in deutschen Unternehmen mittlerweile Standard. In fast einem Drittel der befragten 400 Firmen gibt es sogar keine Anwesenheitsquoten mehr, eine flexible Büroorganisation und Einsparungen von Büroflächen werden zur Selbstverständlichkeit. Auch das mobile Arbeiten im EU-Ausland wird immer häufiger möglich.

In Bezug auf die Folgeerscheinungen der hybriden Arbeitsformen zeichnen sich für Studienleiterin Dr. Josephine Hofmann vom Fraunhofer IAO jedoch auch negative Entwicklungslinien ab. So bringe die hybride Arbeitswelt Schwierigkeiten bei der Integration, Vernetzung und dem Wissensaustausch von Mitarbeitenden mit sich. Um gegenzusteuern, empfiehlt sie Unternehmen, sich stärker mit ihrer Rolle als »sozialem Ort« auseinan-

derzusetzen. Eine gute Betriebsgemeinschaft und identitätsstiftende Maßnahmen sind notwendig, um eine langfristige Bindung und gemeinsame Innovationsfähigkeit sicherzustellen. ■



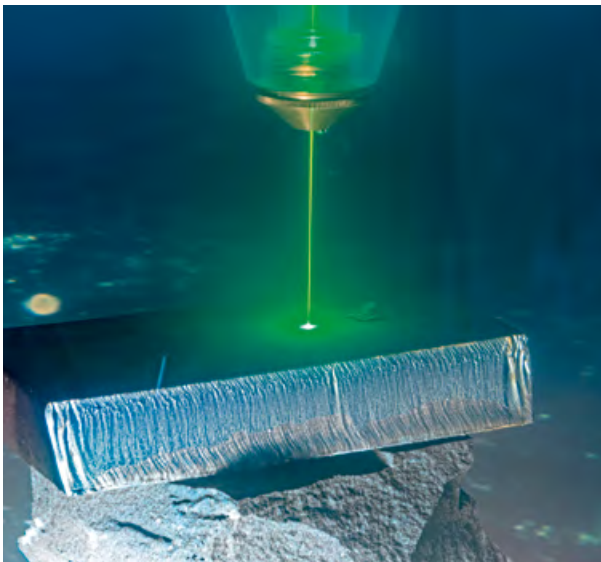
**Die komplette Studie zum Download gibt's hier:**

<https://s.fhg.de/hybrides-arbeiten>

Das tägliche Miteinander wird nicht nur durch Betriebsvereinbarungen, sondern vor allem durch individuelle Team-Regeln bestimmt.



## Laser schneidet unter Wasser



Der kurzwellige grüne Laser arbeitet effizient und umweltfreundlich.

Mithilfe besonders kurzwelliger grüner Laser ist es Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS gelungen, unter Wasser Stahl und andere Metalle zu bearbeiten. Gegenüber heute üblichen Verfahren mit Sägen, Sägeseilautomaten und Plasmaschneidern benötigt das Unterwasserlasern vergleichsweise wenig Energie, die Kraftübertragung ist effizienter. Neue Unterwasser-Fertigungstechnologien sind unter anderem Voraussetzung für die schnelle Erschließung der Offshore-Windenergie.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen das Wasser als Werkzeug, um die entstehende Schmelze mit Druck aus der Schnittfuge auszutreiben. Der Zuschnitt von Metall per Laser erfolgt bisher in einer trockenen Umgebung mit Infrarot- oder einer anderen langwelligen Laserstrahlung. Koaxial zum Strahl entfernen in diesem Zuge Hilfsgase die Metallschmelze. Im Meer herrschen andere Bedingungen: Wasser streut langwelliges Licht in alle Richtungen. Dadurch verpufft ein Großteil der Laserleistung nach kurzer Distanz. Auch sind für das Hilfsgas aufwendige Leitungssysteme nötig, die mit der innovativen Lösung aus dem Fraunhofer IWS überflüssig werden. ■



Mithilfe des Messboots kann problemlos ein 3D-Modell des Grundes angefertigt werden.

## Flüsse und Seen präzise vermessen

Ein autonomes Messboot zur kostengünstigen, exakten Kartierung von Flüssen und Seen haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe entwickelt. Mit dem einsatzfähigen Prototypen wurden bereits erfolgreich Tests auf verschiedenen Seen durchgeführt.

Gewässerkarten müssen regelmäßig von den zuständigen Behörden erhoben und aktualisiert werden, was hohe Kosten verursacht. Die Vermessung der Gewässer wird aktuell mithilfe von Fachkräften auf speziellen Kartierungsschiffen manuell durchgeführt. Da kann das autonome Messboot Geld- und Zeitaufwand reduzieren.

Das Boot, das auf einem kommerziellen USV (unmanned surface vessel) basiert, ist mit einem Leitstand an Land verbunden und kann sowohl über als auch unter der Wasseroberfläche bis zu einer Tiefe von 100 Metern messen. Ausgestattet ist es mit GPS-, Beschleunigungs- und Drehratensensoren sowie einem Doppler Velocity Log (DVL) – einem Sensor, der es dem Boot ermöglicht, sich am Gewässerboden autonom entlangzutasten. Für die Orientierung des teilautomatischen Peilsystems werden die Sensordaten fusioniert. Mithilfe von Laserscannern, Kameras und einer am Fraunhofer IOSB entwickelten Kartierungssoftware können hochpräzise 3D-Modelle der Umgebung rekonstruiert werden. Die Unterwasserkartierung erfolgt per Multibeam-Sonar, das in die Sensorik integriert ist. ■

## Arztbriefe mit Künstlicher Intelligenz erstellen

Mehr Zeit für die Patientenbetreuung soll der »Arztbriefgenerator« schaffen, der von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS entwickelt wird. 150 Millionen Arztbriefe werden pro Jahr in Deutschland geschrieben. Das kostet viel Zeit, die Ärztinnen und Ärzten für Beratung, Information und Austausch fehlt.

Künstliche Intelligenz soll in Zukunft alle wichtigen Informationen wie Anamnese, Verdachtsdiagnose oder verabreichte Medikamente aus den bereits vorliegenden Dokumenten automatisch extrahieren und in den Arztbrief einfügen, den jeder Patient bei seiner Entlassung aus der Klinik ausgehändigt bekommt. Nur die Epikrise, also die Zusammenfassung des gesamten Klinikaufenthalts, das Fazit und die Behandlungsempfehlung, muss noch im Volltext verfasst werden.

Aktuell entwickelt das Healthcare-Analytics-Team des Fraunhofer IAIS gemeinsam mit mehreren Universitätskliniken, darunter die Universitätsmedizin Essen, verschiedene Möglichkeiten der Informationsextraktion. Bis Ende 2024 soll der Arztbriefgenerator auf den Markt kommen. ■



Durchschnittlich drei Stunden dauert die Erstellung eines Arztbriefes.



**Impressum**

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

**Herausgeber:**

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

**Kostenloses Abonnement:**

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

**Redaktion:**

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

**Redaktionelle Mitarbeit:**

Dr. Janine van Ackeren, Dr. Katja  
Engel, Sirka Henning, Andrea Kauf-  
mann, Manuel Montefalcone, Kathrin  
Schwarze-Reiter, Stefanie Smuda,  
Mehmet Toprak, Yvonne Weiß

**Layout + Litho:**

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie**

**der Titelstrecke:** Jan von Holleben

**Fotografie Leichtbau:**

Bernd Hartung

**Druck:**

Kolibri Druck, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2023

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



www.facebook.com/  
fraunhoferde



www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/  
fraunhofer



Großwärmepumpen können unterschiedliche grüne Wärmequellen für die Nutzung im großen Maßstab erschließen.

## Riesenkräfte für die Wärmewende

Deutschland könnte seinen gesamten Wärmebedarf bis 200 Grad Celsius langfristig durch Wärmepumpen decken, ergab eine Fraunhofer-Studie. Voraussetzung ist eine kluge Weiterentwicklung der Großwärmepumpen-Technologie.

**D**as Angebot von Umwelt- und Abwärme, das hierzulande über Wärmepumpen bereitgestellt werden könnte, übersteigt den Wärmebedarf für Gebäude und industrielle Prozesswärme bis 200 Grad Celsius. Dies ergab die Studie »Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland« der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG im Auftrag der Agora Energiewende. In Summe beläuft sich die potenzielle Wärmemenge, die Wärmepumpen aus CO<sub>2</sub>-freien Quellen ohne Nutzung von Umgebungsluft liefern können, auf rund 1500 Terawattstunden. Wärmepotenziale bieten die oberflächennahe und tiefe Geothermie, See- und Flusswasser, industrielle Abwärme, Abwasser, Kohlengruben sowie Rechenzentren. Demgegenüber steht ein jährlicher Wärmebedarf für Temperaturen bis 200 Grad Celsius von gut 1000 Terawattstunden.

Als Hoffnungsträger gilt die Großwärmepumpe. »Unter den nachhaltigen Wärmetechnologien ist sie sicherlich der schlafende Riese«, betont Fabian Ahrendts vom Fraunhofer IEG. Auf Basis der BMWK-

Langfristszenarien zeigt die Studie, dass bis 2045 Großwärmepumpen 70 Prozent der Fernwärmeversorgung sicherstellen und somit einen Großteil des Erdgases ersetzen müssten.

Um Großwärmepumpen-Konzepte voranzutreiben, hat das Fraunhofer IEG in Bochum eine innovative Pilotanlage in Betrieb genommen. Während des Sommers erwärmt Solarthermie das Wasser in einem bereits gefluteten Bergwerk auf 60 Grad Celsius. Während der Heizperiode dient das Grubenwasser als Wärmequelle für eine Hochtemperaturwärmepumpe und speist so Wärme in das lokale Fernwärmenetz.

Zudem unterhält das Fraunhofer IEG in Cottbus zwei Prüfstände für Großwärmepumpen. Der erste misst die Leistungsdaten von Aggregaten für bis zu einem Megawatt Heizleistung und Vorlauftemperaturen bis 90 Grad Celsius im realitätsnahen Betrieb und liefert die Basis für die Optimierung von Wärmepumpenprototypen. Der zweite führt einen Dauertest an einer 500-Kilowatt-Großwärmepumpe durch – Modell für eine Multimegawatt-Wärmepumpe, die Cottbus künftig mit Fernwärme versorgen soll. ■



# Leichtbau





# Alles wird leichter, ...

**Leichte Verbindung:**  
Jana Gebauer, Forscherin  
am Fraunhofer IWS, sucht  
nach Möglichkeiten,  
Metalle mit Kunststoffen  
zu verheiraten.







# ... weil wir Dinge leichter machen!

Der Leichtbau als Zukunftstechnologie: Eine Vielzahl innovativer Ansätze soll nicht nur die Masse von Bauteilen und Produkten senken, sondern auch Kosten und Klimabelastung.

Von Beate Strobel, Fotografie: Bernd Hartung

**Leichter bauen:**  
Mittels Pultrusionsverfahren will Michael Wilhelm am Fraunhofer ICT das Monomer Caprolactam für nachhaltige Leichtbaustrukturen nutzbar machen.



**D**rei Räder, massives Design und eine riesige Transportbox: Auf den ersten Blick sieht das weiße Lastenrad aus wie jedes andere Cargo-E-Bike, mit dem Menschen heutzutage ihre Einkäufe erledigen, Eltern die Kinder in die Kita bringen oder Lieferanten ihre Waren ausfahren. Warum das vom Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF entwickelte Gefährt etwas Besonderes ist, offenbart sich erst nach einem Tritt in die Pedale: Wow, so leicht kann ein Lastenrad sein?

»Unser Ziel war, ein wirklich innovatives Cargo-E-Bike in Leichtbauweise zu entwickeln und dabei möglichst viele Kompetenzen des Fraunhofer LBF zu nutzen«, erklärt Dr. Saskia Biehl, Leiterin des Fraunhofer-Projekts L-LBF (»Lasten-LeichtBauFahrrad«). Also wurde ein handelsübliches Transportrad mit Elektroantrieb angeschafft, mit Sensorik ausgestattet und unter Maximalbelastung durch die Stadt sowie über Feld, Wald und Wiese gefahren, um möglichst viele Betriebszustände zu erfassen und zugleich auch Schwachstellen zu identifizieren. »Danach«, so Biehl, »haben wir das Rad in seine Einzelteile zerlegt und überlegt, wie ein Leichtbaudesign des Vorderwagens aussehen kann, um eine Massereduzierung von mindestens 30 Prozent zu realisieren.« Und um damit das enorme Leichtbau-Potenzial in der Mikromobilität aufzuzeigen.

Beim L-LBF ist das Batteriesystem nun unsichtbar in den neu designten Leichtbau-Rahmen integriert und nicht mehr außen in einem Extra- Kasten angebracht. Dabei handelt es sich um ein eigens für dieses Rad entwickeltes rohrförmiges Batteriesystem, das die doppelte Kapazität im Vergleich zu einer kommerziellen Alternative aufweist. Die Stahlfelgen wurden durch eine Alu-Variante im Wellenstegdesign ersetzt, die Transportbox kann wahlweise aus ultraleichtem Kunststoff bestehen, zu 100 Prozent aus Naturmaterialien oder auch komplett aus Recyclingmaterial. Dazu Sensormodule, die Lage und Verteilung der Last in der Transportbox überwachen und zugleich als Verbindungselemente zwischen Box und Rahmen genutzt werden. »Mehr Funktionen, mehr Leistung – und trotzdem unterbietet das L-LBF das Ausgangs-E-Bike auf der Waage um 39 Prozent allein beim Vorderwagenvergleich«, betont Biehl.

»Die Leichtbautechnologie trägt dazu bei, den ökologischen Fußabdruck verschiedener Industrien zu verringern und den Übergang zu einer nachhaltigeren Wirtschaft zu unterstützen.«

Prof. Alexander Böker,  
Leiter Fraunhofer IAP



Schwere Sachen leichter machen: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) bezeichnet diesen Ansatz als eine der Schlüsseltechnologien für die Zukunft. Im Juli 2021 hat die Bundesregierung die Leichtbaustrategie beschlossen. Leichtbau steht dabei nicht nur für schlichtes Einsparen von Masse. Ziel der Konstruktionsphilosophie ist, Materialauswahl, Produktdesign und Herstellungsverfahren so zu gestalten, dass zum

einen Ressourcen geschont und Produkte eben leichter werden, sich zum anderen aber Funktion und Sicherheit verbessern.

**Das Gewicht der Dinge belastet die Umwelt.** Wird ein Auto um 100 Kilogramm leichter, sinkt der Verbrauch um etwa einen halben Liter pro 100 Kilometer. Das klingt nicht nach viel, doch bei 582,4 Milliarden gefahrenen Pkw-Kilometern pro Jahr hierzulande summiert es sich schnell zu einer veritablen Größe. Bei einem Airbus 320 spart eine Gewichtsverringerung um 100 Kilo knapp 10 000 Liter Kerosin pro Jahr ein. Hinzu kommt, dass sich der globale Rohstoffverbrauch seit 1970 mehr als verdreifacht

hat; rund die Hälfte der weltweiten Treibhausgas-Emissionen geht inzwischen zurück auf die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen. Ein smartes Leichtbau-Design kommt mit weniger Materialeinsatz aus – was Deutschlands wirtschaftliche Abhängigkeit von Rohstoff-Importen und die finanzielle Belastung der Unternehmen senkt. Denn 43,2 Prozent der Kosten im verarbeitenden Gewerbe entstehen durch die Materialbeschaffung.

»Die Leichtbautechnologie trägt dazu bei, den ökologischen Fußabdruck verschiedener Industrien zu verringern und den Übergang zu einer nachhaltigeren Wirtschaft zu unterstützen«, fasst es Prof. Alexander Böker zusammen. Für den Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP eröffnet der Leichtbau, verknüpft mit Digitalisierung und Bionik, neue Chancen in aufstrebenden Zukunftsmärkten und fungiert so als Treiber zur Steigerung von Ressourcen- und Energieeffizienz.

Leicht fällt der Weg in den Leichtbau den Industrien allerdings nicht, die Transformation erfordert ein grundlegendes Umdenken. Der Forschung kommt hier laut Böker eine entscheidende Funktion zu: »Um sicherzu- ▶





**Leichter vorankommen:**  
Dr. Saskia Biehl vom Fraunhofer LBF hat mit ihrem Projektteam ein Cargo-E-Bike nicht nur hinsichtlich Masse optimiert.

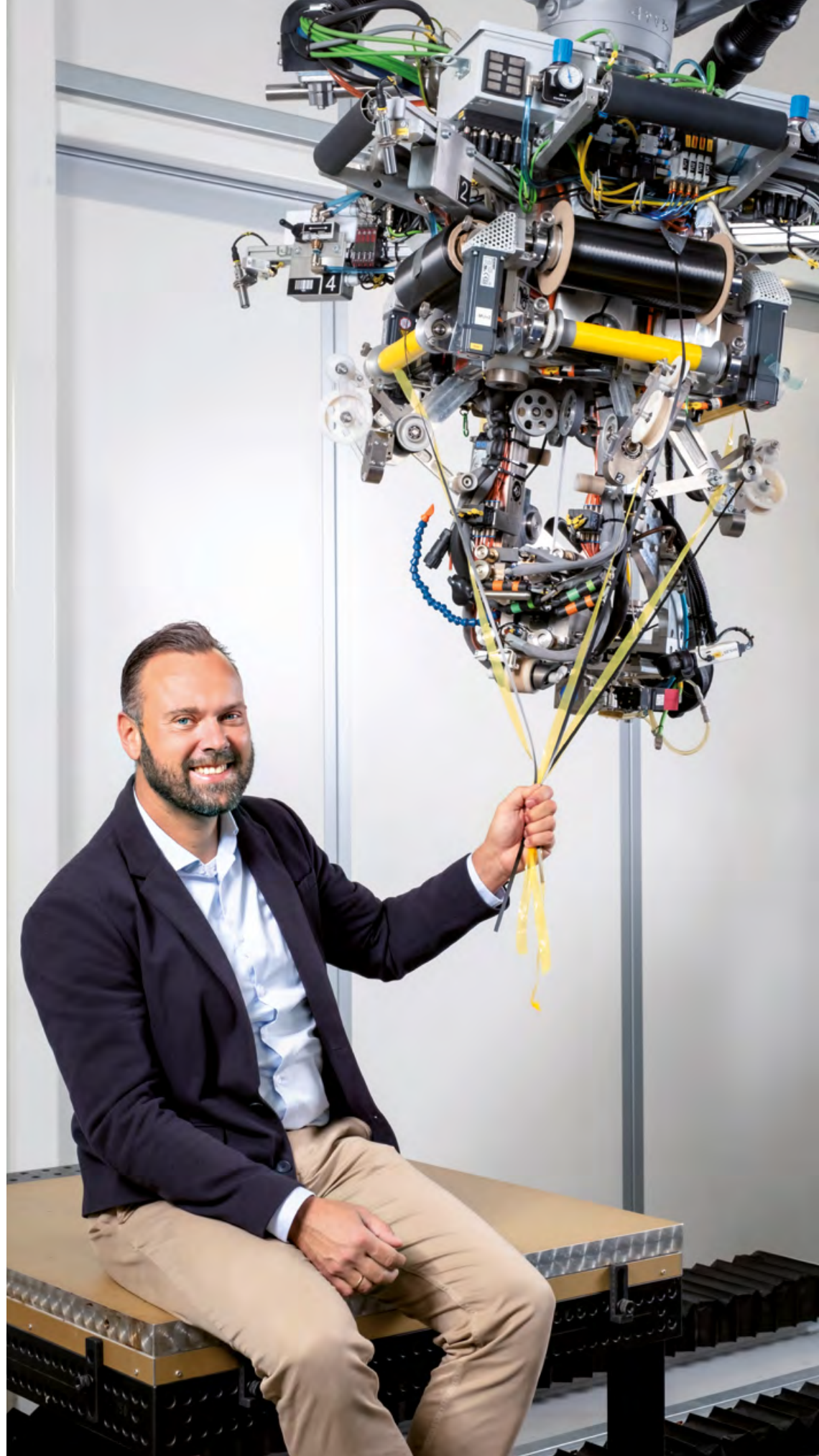


»Das richtige  
Material zum  
richtigen Preis  
an der richtigen  
Stelle.«

Prof. Holger Seidlitz,  
Fraunhofer IAP

**Leichter fertigen:**

Prof. Holger Seidlitz forscht an der Auslegung faserverstärkter Kunststoffe in Leichtbaukonzepten, etwa mit dieser Automated-Fiber-Placement-Anlage.





stellen, dass die Industrie, insbesondere der Mittelstand, die enormen Chancen des Leichtbaus zur Transformation nutzen kann, müssen wir den Wissenstransfer aus der Wissenschaft in die Praxis beschleunigen.«

### Mehr Leichtigkeit gewinnen durch ... kluge Werkstoff-Wahl

»Das richtige Material zum richtigen Preis an der richtigen Stelle«: So formuliert Prof. Holger Seidlitz, Bereichsleiter Polymermaterialien und Composite PYCO am Fraunhofer IAP, eine der Erfolgsformeln für den Leichtbau. Es gilt, den Werkstoff und die Bauteilgestaltung zu finden, die nicht nur mehr Leichtigkeit ermöglichen, sondern auch weiterhin die nötige Funktionalität und Sicherheit zu einem wirtschaftlich vertretbaren Preis garantieren.

Als das »Schwarze Gold« des Leichtbaus gelten dabei Carbonfasern. Zum einen, weil sie wunderbar leicht sind und trotzdem sehr hohe Festigkeit aufweisen und somit als Substitut etwa für Metalle eine enorme Masseneinsparung erlauben. Und zum anderen, weil sie als carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) im Designprozess nahezu beliebig formbar sind und dennoch dem Produkt eine große Steifigkeit und Festigkeit verleihen. Der Nachteil: Die Herstellung der Fasern ist hochkomplex und energieintensiv. In der »Carbon Lab Factory Lausitz«, einer länderübergreifenden Initiative von Sachsen und Brandenburg, in der die Fraunhofer-Institute IAP und IWU, die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg BTU und die TU Chemnitz eng zusammenarbeiten, sollen künftig »grüne« Carbonfasern entwickelt und produziert werden: Lässt sich die Faser aus regional nachwachsenden Rohstoffen spinnen? Und inwiefern können regenerative Stromquellen zu einer Verbesserung des ökologischen Fußabdrucks der CFK-Produktion beitragen? Auch der Kreislaufgedanke, so Seidlitz, könne eine Transformation der Carbonfaser vom »Schwarzen« zum »Grünen Gold« des Leichtbaus forcieren: »Je länger eine Kohlenstofffaser im Kreislauf gehalten werden kann, desto besser für die Umwelt.«

Wie sich die Circular Economy im Fall von CFK optimieren lässt, eruiert das Fraunhofer IAP mit fünf Kooperationspartnern aus Wirtschaft und Wissenschaft im TransHyDE-Projekt MUKRAN. Unter der Leitung von Hol-

ger Seidlitz werden zwei Kugelspeichervarianten für Wasserstoff entwickelt. Schon die Form kann Masse einsparen: Physikalisch bedingt ist die im sonst üblichen Zylindertank benötigte Wandstärke doppelt so hoch wie in der Kugelvariante. »Reine Stahl tanks besitzen zudem ein Vielfaches an Masse als solche aus CFK«, erklärt Seidlitz. Die hohe Masse erhöht die Treibstoffkosten, da auch Fahrwerk und Bremsen der Transportfahrzeuge entsprechend verstärkt werden müssen. Und irgendwann steht dann die Frage im Raum, ob Wasserstoff tatsächlich eine umweltverträgliche Lösung sei.

Um nicht unnötig viel der teuren Carbonfaser zu verwenden, wird im Projekt MUKRAN an Lösungen geforscht, um leichte und dennoch zuverlässige Wasserstoffspeicher zu gestalten. Hierfür entwickelt das Forscherteam des Fraunhofer IAP beispielsweise Sensoren, die mittels gedruckter Elektronik auf den Faserverbundteilen appliziert werden – »möglichst Lage für Lage, damit wir mehr darüber erfahren, was im Werkstoff unter Belastung passiert«, sagt Seidlitz. Erst mit diesem Wissen könne man effizient konstruieren und auslegen. Aber auch später, im Realbetrieb der Hochdrucktanks, erweist sich die Sensorik als sinnvoll für die Zustandsüberwachung.

Getestet werden die Tanks unter anderem im ZenaLeb (Zentrum für nachhaltige Leichtbautechnologien), eine vom Land Brandenburg geförderte Projektgruppe als Kooperation zwischen dem Fraunhofer IAP und der BTU Cottbus-Senftenberg, die die Entwicklung effizienter Leichtbaustrukturen und deren Transfer in die Massenproduktion voranbringen soll.

Den Schritt aus dem Labor in die Umsetzung hat eine andere Innovation bereits geschafft: Im Rahmen diverser, vom BMWK geförderter Luftfahrtprojekte haben Forschende am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV gemeinsam mit dem Luftfahrtzulieferer Premium Aerotec in Augsburg neue Technologien für die effiziente Herstellung von CFK-Strukturbauteilen entwickelt, durch die letztendlich die Titanbauweise der Flugzeugtür-Rahmenstruktur des Airbus 350 durch CFK substituiert

werden konnte. »Die Tür Rahmenstruktur aus CFK ist nicht nur erheblich leichter, sondern aufgrund materialeffizienter und automatisierter Fertigungsprozesse wie dem Automated Fiber Placement auch wirtschaftlicher«, sagt Kevin Scheiterlein, Gruppenleiter Fiber Placement und Composite Molding am Fraunhofer IGCV. ▶

»Die Tür Rahmenstruktur aus CFK ist nicht nur erheblich leichter, sondern aufgrund materialeffizienter und automatisierter Fertigungsprozesse auch wirtschaftlicher.«

Kevin Scheiterlein, Fraunhofer IGCV

»Leichtbau ist eine Querschnittsdisziplin«, betont Seidlitz: Um die Technologie den unterschiedlichen Industrien nahezubringen, müssen die Erkenntnisse entlang der gesamten Wertschöpfungskette gebündelt und entsprechende Synergien genutzt werden. Diesem Ansatz trägt das Fraunhofer Forschungsfeld Leichtbau Rechnung, ein Zusammenschluss aus 14 Fraunhofer-Instituten. Von der Entwicklung neuer Materialien und Materialkombinationen über effiziente sowie automatisierte Fertigungs- und Füge Technologien bis hin zu nachhaltigeren Bauweisen und geeigneten Prüfverfahren findet die Wirtschaft hier Unterstützung und kompetente Ansprechpartner.

Teil des Fraunhofer Forschungsfeldes Leichtbau ist unter anderem das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM mit dem Schwerpunkt Prüftechnologie – einem Teilbereich des Leichtbau-Prinzips, der entscheidend mitbestimmt, wie viel Material tatsächlich eingespart werden kann, ohne Funktion und Sicherheit zu gefährden. »Je mehr ich über einen Werkstoff in Erfahrung bringe und je umfassender ich ihn charakterisiert habe, desto näher kann ich ans Limit gehen«, erklärt Dr. Jörg Hohe, Gruppenleiter Verbundwerkstoffe im Geschäftsfeld Bauteilsicherheit und Leichtbau am Fraunhofer IWM. Sein Team untersucht Verbundwerkstoffe mit Polymer-, Keramik- oder Metallmatrix hinsichtlich ihres Einsatzverhaltens, um so Kosten bei der Material- und Bauteilentwicklung einzusparen.

Das Problem: Selbst innerhalb einer Charge gleicht kein Bauteil dem anderen zu 100 Prozent, es gibt immer produktionsbedingt Schwankungen. Viele Verbundwerkstoffe und feste Schäume besitzen zudem eine besonders ungeordnete Mikrostruktur und zeigen deshalb ein stark streuendes Materialverhalten. Doch bei sicherheitskritischen Bauteilen etwa in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, dem Bau oder beim Wasserstofftransport darf man sich hinsichtlich Materialeinsatz nicht am Mittelwert orientieren, sondern muss das Streuband berücksichtigen. Also doch lieber etwas mehr Material, um auf der sicheren Seite zu sein? »Das führt meist zu einer Überdimensionierung und damit zu einer schlechten Ausnutzung des Leichtbaupotenzials«, sagt Hohe.

Um die Streuung im Materialverhalten besser und kosteneffizienter vorherzusagen, wurden am Fraunhofer IWM Verfahren zur numerischen Simulation von Verbundwerkstoffen und -bauteilen entwickelt, die eine Vorhersage der zu erwartenden Schwankungsbreite erlauben. Hohe: »Wir gelangen dank der Simulation auch an Daten, die man experimentell nicht direkt erfassen kann, beispielsweise an Stellen, die für eine Messung nicht zugänglich sind.«

Nur neidvoll auf die Schwankungsbreite eines CFK blicken hingegen all jene, die sich mit naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) beschäftigen und mit der Frage, inwiefern diese als Ersatz für erdölbasierte Kunststoffe

dienen könnten. NFK entziehen sich den etablierten Modellen und Prozessen gleich auf mehrere Weisen, »sie sind zum einen weniger homogen und bringen zum anderen spezielle Eigenschaften hinsichtlich Feuchteaufnahmen und thermischer Stabilität mit«, listet Dr.-Ing. Christian Beinert auf, Abteilungsleiter Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung beim Fraunhofer LBF.

Im Projekt COOPERATE, gefördert vom BMWK, wollen Forschende des Fraunhofer LBF herausfinden, wie sich Biopolymer-Komposite im Leichtbau einsetzen lassen. »Im Zentrum unserer Forschung stehen derzeit mechanisch besonders stark beanspruchte Kraftfahrzeugteile«, erklärt Projektleiter Georg Stoll. »Wir wollen CO<sub>2</sub> einsparen, indem wir zum einen Polymere aus erdölbasierter Produktion durch biogene Kunststoffe ersetzen, also solche, die etwa aus Leinöl oder anderen nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden.« Und zum anderen gehe es darum, davon möglichst wenig zu verwenden. »Durch die Kombination dieser Maßnahmen – Material-Substituierung und Materialeinsparung – erwarten wir eine Reduktion von bis zu 75 Prozent des bisherigen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks.«

Eine große Hilfe erhoffen sich die Forschenden von der Entwicklung neuer digitaler Berechnungsmethoden: »Wir betrachten dabei nicht nur die finale Form des Bauteils, sondern auch, wie sich das Bauteil im Herstellungsprozess mit Material füllt, welche Orientierung der Fasern sich dabei ergeben und welche lokalen Materialeigen-

»Je mehr ich über einen Werkstoff in Erfahrung bringe, desto näher kann ich ans Limit gehen.«

Dr. Jörg Hohe, Fraunhofer IWM

schaften dadurch entstehen«, so Stoll. Das Design und die Produktionsprozesse sollen so gestaltet werden, dass das Material dank der Ausrichtung der Fasern an den Stellen mit der höchsten Belastung auch die größte Festigkeit und Steifigkeit ausprägt. Die dafür passenden Modelle zu entwickeln, sei ein entscheidender Hebel für den Leichtbau, ergänzt Dr.-Ing. Felix Dillenberger, als stellvertretender Abteilungsleiter Kunststoffverarbeitung und Bauteilauslegung verantwortlich für das Forschungsfeld Mechanik und Simulation beim Fraunhofer LBF: »Je besser man das Produktionsgeschehen und das Materialverhalten digital abbilden und optimieren kann, desto mehr Material kann man letztendlich einsparen.« ►



# Vibroakustische Metamaterialien: Die Welt leichter und leiser machen

Neben seinen vielen Vorteilen besitzt der Leichtbau ein echtes Manko. Denn während alles, was viel Masse besitzt, kaum vibriert, bedeutet geringes Gewicht umgekehrt: häufig starke Schwingungsbereitschaft und hohe Schallabstrahlung. Um etwa eine Autofahrt so geräuscharm wie möglich zu gestalten, werden die oft nur aus dünnen Blechen bestehenden Autotüren in der Regel mit speziellen Schallschutzmatten gedämmt – verständlich aus Sicht der Akustikdesigner, aber problematisch für die Ziele des Leichtbaus.

Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF will auch dieses Hindernis auf dem Weg zur neuen Leichtigkeit beseitigen: Vibroakustische Metamaterialien könnten den Konflikt zwischen Massenverlust und Lärmschutz befrieden. »Metamaterialien sind künstlich hergestellte Werkstoffe mit Eigenschaften, die es so in der Natur nicht gibt«, erklärt Heiko Atzrod, Forscher am Fraunhofer LBF. Aufgrund von Wechselwirkungen zwischen dem Material und seiner besonderen Struktur können sie beispielsweise Lichtwellen beeinflussen und so um ein Objekt herumleiten, dass dieses nicht mehr zu sehen ist. Gut möglich also, dass Harry Potters Tarnumhang aus Metamaterial besteht.

Die Forschenden am Fraunhofer LBF haben indes im Fraunhofer-internen PREPARE-Projekt MetaVib ein Metamaterial entwickelt, das vibroakustische Fähigkeiten besitzt. »Wir generieren Mikrostruktur-Elemente, die in das Ursprungsmaterial integriert werden und so in gewissen Frequenzbereichen eine virtuelle negative Masse erzeugen«, erläutert Projektleiter Atzrod. »Denn dort, wo keine virtuelle Masse existiert, können auch keine Vibrationen entstehen oder Schallwellen sich ausbreiten.« Die eingebrachten Resonatoren entfalten ihre reduzierende Wirkung, wenn sie so angeordnet werden, dass die Abstände zueinander kleiner sind als die halbe Wellenlänge der Luftschwingung, die sie reduzieren sollen. Nur dann erzeugen sie sogenannte Stopp-Bänder in der Schallübertragung, stoppen also die

Metamaterial inside: Ein VAMM-Exponat demonstriert die Umsetzung der innovativen Idee.



Ausbreitung der Luftschallwellen, überführen sie in Körperschallwellen und absorbieren diese schließlich.

Eines der ersten Projekte mit vibroakustischen Metamaterialien (VAMM) war »Silent Running«: Ziel war, eine Technologie zu entwickeln, mit deren Hilfe sich Mikroschwingungen von Raketenkomponenten minimieren lassen. Denn in der Raumfahrt kommt es nicht nur auf Gewichtsminimierung an, sondern auch darauf, dass möglichst wenig Vibrationen entstehen, um die Messungen mit optischen Instrumenten an Bord nicht zu beeinflussen. Die VAMM-Technologie wurde im Juli 2023 als »beste eingereichte Idee einer Forschungseinrichtung seit Beginn des INNOSpace Masters« ausgezeichnet – ein von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR initiiertes Wettbewerb, der Innovationen in der Raumfahrt kürt.

Vibroakustische Metamaterialien haben den Vorteil, dass sie nicht auf bestimmte Werkstoffe limitiert sind. »Holz, Kautschuk, Reststoffe, Rezyklate – alles ist möglich«, erklärt Heiko Atzrod. »Dadurch können gezielt Materialien zum Einsatz kommen, die nicht nur das Gewicht des Produkts, sondern auch dessen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verringern.« Im Projekt MetaVib wurde nicht nur die Funktionsfähigkeit des Metamaterials als Schalldämpfung in der Autotür nachgewiesen, sondern auch VAMM in unterschiedlichen Formen und mit individuell anpassbaren Funktionen entwickelt. Atzrod: »Inzwischen haben wir Standardkataloge, die eine Variation von Resonatoren und Werkstoffen auflisten und damit den Entwicklungsaufwand für den Einzelfall verringern.«

In einem neuen Projekt setzt das Fraunhofer LBF die Innovationstechnologie nun gemeinsam mit der österreichischen ASFINAG in Lärmschutzwänden aus Glas um, mit deren Hilfe der Schall um bis zu 20 Dezibel gesenkt werden soll. Bereits eine Senkung um sechs Dezibel bedeutet für das menschliche Ohr eine Halbierung der wahrgenommenen Lautstärke. Die VAMM-Wände sollen demnächst auf ausgewählten Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich erprobt werden.



In dem Verbundvorhaben LowCarboVan arbeitet das Fraunhofer LBF konkret daran, NFK in der Verkleidung eines klassischen Reisemobils einzusetzen. »Durch steigende Ansprüche an den Komfort wird diese Fahrzeugklasse immer größer und aufwendiger konstruiert«, erklärt Projektleiter Felix Dillenberger. »So langsam kommt man nun an die Grenzen dessen, was mit einem normalen Autoführerschein erlaubt ist. Deshalb hat auch die Industrie ein großes Interesse an einer Leichtbau-Version.«

»Die Industrie hat ein großes Interesse an einer Leichtbau-Version.«

Dr.-Ing. Felix Dillenberger, Fraunhofer LBF

Gerade bezüglich der Verminderung der Feuchteaufnahme der verwendeten Flachfasern in der jeder Witterung ausgesetzten Außenverkleidung kann das Forschungsprojekt technische Lösungen entwickeln, die interessant sein werden für eine Vielzahl anderer Einsatzmöglichkeiten von NFK. Ziel ist, dass bereits 2024 ein Reisemobil mit weniger Gewicht und Naturfasern in der Außenverkleidung als Demonstrator existiert und sich auf den Weg macht in Richtung Serienfertigung.

### Leichtigkeit gewinnen durch ... innovative Produktionsverfahren

Wie wird aus einem leichten Material ein Leichtbauteil – also eines, das es der verarbeitenden Industrie leicht macht, ihre gewohnten Werkstoffe und Verfahren einzutauschen gegen Alternativen? Mit dem sogenannten Pultrusionsverfahren etwa lassen sich endlosfaserverstärkte Kunststoffprofile – wenig Gewicht, hohe Belastbarkeit – effizient und preiswert herstellen. Hierfür werden Glas- oder Carbonfasern mit Kunststoff getränkt, durch ein beheiztes Werkzeug gezogen und ausgehärtet. »Es ist ein Verfahren, das hochautomatisiert ist und mit dem wir hohe Stückzahlen erreichen können, so dass es auch für die Serienproduktion geeignet ist«, sagt Maschinenbau-Ingenieurin Elisa Ruth Bader, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU.

Neben der Herstellung gerader Profile können am Fraunhofer IWU inzwischen auch gebogene Strukturen gefertigt werden (Radius-Pultrusion). Von Vollprofilen bis hin zu komplexen Mehrkammer-Hohlstrukturen lassen





**Natürlich leichter:**  
Dr.-Ing. Christian Beinert (l.)  
und Dr.-Ing. Felix Dillenberger  
forschen am Fraunhofer LBF an  
Biopolymer-Kompositen im  
Leichtbau – hier ein naturfaser-  
basiertes Organoblech, das tech-  
nische Bauteile verstärken kann.



sich zudem viele Formen realisieren. Auch an der Produktion von Hybrid-Profilen – Kombinationen aus faserverstärkten Kunststoffen sowie anderen Materialien – wird am Fraunhofer IWU geforscht sowie daran, sogenannte FGL-Drähte zur Dehnungsmessung in die Profile einzuziehen und damit ein sensorisches Upgrade der Profile darzustellen. Bader ist überzeugt: »Pultrusion ist ein Verfahren, in dem noch viel Potenzial für den Leichtbau steckt.«

Für das Leitprojekt ALBACOPTER, das vom Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI koordiniert wird und bei dem sechs Fraunhofer-Institute ihr Wissen einbringen in die Entwicklung eines besonders leichten, nachhaltigen und aerodynamisch günstigen Drohnenkonzepts, wurden am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT Pultrusionsprofile entwickelt, die aus faserverstärktem Thermoplast bestehen und für die Rahmenstruktur der Flugplattform verwendet werden. Bei der Transportbox der Drohne setzen die Forschenden auf die Monomaterial-Sandwichbauweise. »Dies ermöglicht eine hervorragende Rezyklierbarkeit am Ende der Lebensdauer, da die Box zwar aus mehreren Schichten – darunter auch Schaumschichten – bestehen, aber doch nur ein einziger Kunststoff verwendet wurde«, betont Michael Wilhelm, Gruppenleiter Strukturleichtbau am Fraunhofer ICT. Die Idee ist, dass ein derartiges Fluggerät eines Tages in Städten beispielsweise autonom Waren ausliefern könnte.

Wilhelm arbeitet außerdem an der Weiterentwicklung des Pultrusionsverfahrens. Im Zentrum seiner Forschung steht das Monomer Caprolactam, die Basis von Polyamid 6. »Das Monomer ist so flüssig wie Wasser«, erklärt Wilhelm. »Dadurch lassen sich Verstärkungsfasern, etwa Glas- oder Carbonfasern, sehr gut durchtränken und werden bestens imprägniert.« Die thermoplastische Matrix ermögliche zudem ein nachträgliches Verformen oder thermisches Fügen der Teile. »Und am Ende des Lebenszyklus«, betont Wilhelm, »lässt sich das Material einfach zerkleinern und im Spritzguss einer neuen Anwendung zuführen – mit dem Vorteil, dass die Materialeigenschaften kaum limitierter sind als die von Spritzguss-Neuware. Das ermöglicht eine sehr einfache Kreislaufführung.«

Die Herausforderung dabei: Aufgrund der geringen Zähflüssigkeit von Caprolactam werden spezielle Werkzeuge und Verarbeitungsmaschinen benötigt. Im Projekt CaproPULL hat ein Konsortium aus dem Fraunhofer ICT und mehreren Wirtschaftspartnern dafür die in-situ-Pultrusion grundlegend entwickelt, wodurch das Monomer nun robust zu endlosfaserverstärkten thermoplastischen Profilen verarbeitet werden kann. Zum Einsatz kommen könnten solche Profile beispielsweise in der Automobilindustrie als lokale Verstärkungen, glaubt Wilhelm. Aber auch der Bausektor sei ein potenzielles Einsatzfeld, denn: »Anders als Stahl korrodieren die ▶





**Leicht gedacht:**  
Andrea Berger hat am Fraunhofer IWS ein Verfahren mitentwickelt, um Leichtbauplatten schnell und günstig herzustellen.



faserverstärkten Kunststoffe nicht«, erklärt der Experte. »Dies könnte die Lebensdauer von Bauwerken wie etwa Brücken deutlich verlängern.«

**Und was ist mit dem 3D-Druck als Game Changer im Leichtbau?** Die additive Fertigung ist schließlich gut geeignet, um auch komplexe Geometrien mit Hohl- und Innenstrukturen zu erzeugen, und so Material und Masse einzusparen. Dieser Frage gehen Forschende der Fraunhofer-Institute LBF und IWU in dem Verbundprojekt ECO<sub>2</sub>-LiNe mit weiteren Industriepartnern nach. Aufgabe ist, naturfaserverstärkte Kunststoffbauteile zu entwickeln, mit denen sich zum einen Metallkonstruktionen ersetzen lassen und die zum anderen für das besonders schnelle additive Druckverfahren SEAM geeignet sind. »So wollen wir nachhaltige Komponenten für die Innen- und Außenanwendung in Fahrzeugen herstellen – egal, ob Auto, Bus oder Zug«, sagt Felix Dillenberger vom Fraunhofer LBF. »Das 3D-Drucken ermöglicht uns im Bauteil-Design viel mehr Freiheitsgrade als etwa der Spritzguss.«

Manchmal allerdings muss es einfach Metall sein. Bedeutet das zwingend auch viel Masse? In dem von der EU geförderten Projekt MADE-3D (»Multi-Material Design using 3D Printing«) forscht das Fraunhofer IGCV als Teil eines internationalen Expertenteams seit Januar 2023 daran, wie sich leistungsfähige und doch leichte Multimaterial-Bauteile herstellen lassen.

»Wir wollen Metalle additiv miteinander verbinden, sodass ihre besonderen Eigenschaften bestmöglich genutzt werden können«, erklärt Christopher Singer vom Fraunhofer IGCV. Die Idee der Legierung, also der Kreation von Werkstoffen, die aus mindestens zwei Elementen bestehen, ist entscheidend für den Leichtbau, da so die Talente ihrer Einzelbestandteile erhalten bleiben, aber das bei weniger Gewicht. Teure Metalle wie Titan müssen so zudem nur dort integriert werden, wo ihre Funktion von Bedeutung ist. »Als Verfahren betrachten wir vor allem das Laserstrahlschmelzen sowie das Laserauftragsschweißen – beides additive Technologien, mit denen sich auch ausgefallene Strukturen fertigen lassen und mit deren Hilfe sich die einzelnen Metalle gezielt in die Legierung einbringen lassen.«

Der Einsatz von maschinellem Lernen soll dabei helfen, schneller zu idealen Materialdesigns für bestimmte Anwendungsfelder zu kommen – und so durch die Verwendung leichterer Metalle, durch geringeren Material-

einsatz sowie Individualisierbarkeit der Funktionen eine Gewichtseinsparung einzelner Bauteile von bis zu 50 Prozent bringen.

**In der Verheiratung von Metallen mit faserverstärkten Kunststoffen** übt sich das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS. Beide Materialien einfach zu verkleben, sei nicht der richtige Ansatz, erklärt Jana Gebauer, Forscherin am Fraunhofer IWS: »Klebstoff muss nicht nur lange aushärten, sondern altert auch, was die Lebensdauer der Bauteile verkürzt.« Forschende am Fraunhofer IWS haben deshalb alternative Lösungen erarbeitet, um Metalle und FKV zu verbinden. In einer davon erhält der Kunststoffverbund mittels Thermischem Spritzen eine

Schutz- und Funktionsschicht aus Metall. Der Trick dabei, so Jana Gebauer, ist die Vorbehandlung des Kunststoffs: »Eine raue Oberfläche allein reicht für diesen komplexen Spannungszustand nicht aus. Es bedarf einer Laserstruktur, um das heiße Metall mit dem kalten FKV zuverlässig zu vereinen.« Gepulste Laserstrahlung legt in einem ersten Schritt punktgenau und schonend die Fasern in der Kunststoffmatrix frei, auf denen die Spritzpartikel Halt finden. Zusätzliche Vertiefungen

»Wir wollen Metalle additiv verbinden, um ihre Eigenschaften bestmöglich nutzen zu können«

Christopher Singer, Fraunhofer IGCV

wirken wie eine Klammer oder ein Klettverschluss.

»Da das Thermische Spritzverfahren sich für eine Vielzahl von Materialien eignet, ist die Technologie auch skalierbar für andere Funktionen und Branchen«, weiß Gebauer. In dem BMBF-Verbundprojekt CHIMERA wird dieses Verfahren aktuell eingesetzt, um ein Batteriegehäuse mit elektromagnetischer Abschirmung zu entwickeln. Die ebenfalls am Fraunhofer IWS entwickelte Technologie HPCi® zum Verbinden von Metall und Kunststoffen mittels thermischem Direktfügen hat als Fügezange bereits den Transfer in den Karosserie- und Flugzeugbau geschafft.

Ein anderes, ebenfalls am Fraunhofer IWS entwickeltes Leichtbau-Konstruktionsprinzip ist das sogenannte Laserwalzschweißen. »Damit können wir Leichtbauplatten schnell und kostengünstig herstellen – und das besonders langlebig sowie ganz ohne Klebstoff, was das Recycling erleichtert«, erklärt Andrea Berger, Forscherin am Fraunhofer IWS. Im Kern der Sandwich-Paneele befindet sich eine leichte Hohlkammerstruktur aus Metall, auf die dann beidseitig dünne Bleche fixiert werden. Diese werden über zwei Walzen auf die Innenstruktur abgerollt, während ein gescannter Laserstrahl oben und unten blitzschnell und punktgenau die Metalloberfläche im Walz- ▶



spalt erhitzt. Walzen pressen die Sandwich-Bestandteile dann so fest aufeinander, dass diese sich dauerhaft verbinden. »Da es sich um ein Rolle-zu-Rolle-Verfahren handelt, erzielen wir eine sehr hohe Produktionsgeschwindigkeit«, so Berger. »Dass außerdem der Energieeintrag sehr gering ist, macht das Verfahren interessant für die Industrie, etwa für den Schiffs- oder Hallenbau.«

### Leichtigkeit gewinnen durch ... smartes Design

Die Batterie eines Elektroautos hat Gewicht: Bei Kleinwagen wiegt sie etwa 250 Kilogramm, bei größeren Limousinen können es bis zu 700 Kilogramm sein. Das XXL-Modell garantiert eine höhere Reichweite, hat aber ein anderes Problem: Je größer die Traktionsbatterie ausfällt, desto höher ihr ökologischer Fußabdruck. Dieses Optimierungspotenzial in Sachen Nachhaltigkeit will das Fraunhofer IWU mit intelligentem Design heben. Im Projekt CoolBat, gefördert vom BMWK und in Kooperation mit den Fraunhofer-Instituten für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, für Schicht- und Oberflächentechnik IST und für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI, soll das Batteriegehäuse neu designt werden. Es geht darum, »erforderliche Funktionen mit einer reduzierten Anzahl an Einzelkomponenten und mit weniger, dafür gut demontierbaren Schnittstellen unterzubringen«, erklärt Projektkoordinator Rico Schmerler, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IWU. So sollen etwa Temperierkanäle in die Tragstrukturen integriert werden. Aluminiumschaum in der Bodenplatte trägt in Kombination mit Phasenwechselmaterial zur Kühlung der Batterie bei und verstärkt gleichzeitig den Schutz bei Unfällen, da er in der Lage ist, Aufprallenergie zu absorbieren.

Ziel von CoolBat ist eine Erhöhung der Reichweite sowie des Ladetempos »und zugleich die Einsparung von 15 Prozent des emittierten CO<sub>2</sub> pro Gehäuse über den gesamten Lebenszyklus hinweg«, erklärt Schmerler. Möglich wird das durch den ganzheitlichen Ansatz des Projekts: »Alle Ideen werden geprüft und bewertet hinsichtlich einer möglichen CO<sub>2</sub>-Einsparung durch eine bessere Material-, Technologie- oder Fertigungsauswahl.«

»Das Potenzial der Leichtbautechnologie ist noch lange nicht ausgeschöpft«, zeigt sich Prof. Alexander Böker, Leiter des Fraunhofer IAP, überzeugt. »Die Entwicklung neuer Materialien, Fertigungsmethoden und Anwendungen kann die Effizienz noch deutlich steigern und den ökologischen Fußabdruck noch stärker reduzieren.« Die Transformation in Richtung Leichtbau bringe für einige Industrien große Herausforderungen mit sich, etwa hohe Kosten, Sicherheitsanforderungen oder die Notwendigkeit, bestehende Produktionsprozesse anzupassen. »Trotzdem ist der Leichtbau ein wichtiger Schritt hin zu einer nachhaltigeren Zukunft«, betont Böker. »Und die meisten Branchen werden sich in diese Richtung bewegen müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.« ■



**Kontakt Fraunhofer  
Forschungsfeld Leichtbau**  
Sprecher: Dr. Michael Luke  
[www.leichtbau.fraunhofer.de](http://www.leichtbau.fraunhofer.de)

**Für Interessierte  
aus der Wirtschaft**  
Mehr zu Fraunhofer  
Match auf Seite 79



### Die Kunst, Leichtigkeit zu inszenieren:

Für die Fotoproduktion dieses Artikels drappierte der Frankfurter Fotograf Bernd Hartung beispielsweise Glasfaser-Rovings um Forscher Michael Wilhelm (l.), oder stellte Dr.-Ing. Felix Dillenberger aufs Trampolin (r.). Und ließ alles ganz leicht aussehen.







**Leichter gestalten:**  
Mit einer mächtigen  
Presse lässt Rico  
Schmerler am  
Fraunhofer IWU  
klug designte  
Bleche für nachhal-  
tigere Batterien von  
E-Autos fertigen.

## Stimme aus der Wirtschaft



Martin Brudermüller, 62, will die grüne Transformation von BASF vorantreiben. Wichtige Hebel dabei sind der Umstieg auf Grünstrom und klimafreundlichere Produktionsverfahren.

# Pragmatismus statt Brechstange

Über das Ziel besteht Einigkeit: Bis 2050 soll Europa als erster Kontinent klimaneutral werden. Darüber, wie sich diese Jahrhundertaufgabe stemmen lässt, wird aber noch gerungen. Klar ist jedoch: Ohne eine starke und wettbewerbsfähige Chemieindustrie wird es nicht gelingen.

Ein Standpunkt von Martin Brudermüller, Vorstandsvorsitzender BASF SE



**D**ie chemische Industrie befindet sich in dem wohl größten Wandel ihrer Geschichte: Eine der emissions- und energieintensivsten Branchen will klimaneutral werden. Dafür braucht es bahnbrechende Innovationen, aber auch die richtigen Rahmenbedingungen und politischen Pragmatismus. BASF steht hinter dem Green Deal. Deshalb arbeiten wir mit aller Kraft daran, BASF bis 2050 auf Netto-Null-Emissionen zu bringen. Doch wie sieht die Chemie der Zukunft bei BASF aus?

Chemie ist überall. Sie ist die »Industrie der Industrien« und liefert ihre Produkte in nahezu alle Branchen. Chemie ist vor allem dort, wo es grüner werden muss. Harze machen Windparks wetterfest. Solaranlagen funktionieren nur mit Elektronikchemikalien und Batteriematerialien ermöglichen erst die E-Mobilität.

Aber: Die Chemie verursacht hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das ändern wir. Ein wichtiger Hebel ist die Umstellung unserer Strom- und Dampfversorgung von grau auf grün. Vor wenigen Wochen ging zum Beispiel vor der niederländischen Küste mit BASF-Beteiligung einer der größten Offshore-Windparks der Welt an den Start – ohne jegliche Subventionen. Rund die Hälfte des Grünstroms fließt an unsere Standorte in Europa. In Zhanjiang in Südchina werden wir unseren neuen Verbundstandort vom ersten Tag an mit 100 Prozent Grünstrom betreiben.

Für eine CO<sub>2</sub>-arme Produktion entwickeln wir zudem neue Technologien, die wir in Pilotprojekten erproben – vor allem bei den emissionsintensiven Basischemikalien, den Grundbausteinen für Tausende unserer Produkte. Ein Beispiel: Anfang 2024 geht in Ludwigshafen die weltweit erste Demonstrationsanlage für elektrisch betriebene Steamcracker-Öfen in Betrieb. Mit dieser Technologie verringern wir den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Herstellung von Ethylen und Propylen um über 90 Prozent. Wir testen auch, wie die Wasserelektrolyse im industriellen Maßstab zur Wasserstoff-Produktion funktionieren und die CO<sub>2</sub>-intensive Dampfpreformation ersetzen kann.

Weniger CO<sub>2</sub> in der Produktion ist wiederum Voraussetzung dafür, dass wir unseren Kunden Produkte mit einem verringerten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck anbieten können und sie so bei ihren Klimaschutzzielen unterstützen. Wir berechnen regelmäßig die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke aller 45 000 BASF-Verkaufsprodukte. Auf Ba-

»Es ist keine Zauberei: Mit Innovationen aus der Chemie wird die grüne Transformation gelingen.«

## Dr. Martin Brudermüller

- ▶ leitet als Vorstandsvorsitzender BASF, den größten Chemiekonzern der Welt, mit über 110 000 Mitarbeitenden in 91 Ländern.
- ▶ wurde 1961 in Stuttgart geboren. Nach dem Studium der Chemie, Promotion und Postdoc-Aufenthalt an der University of California, Berkeley, USA, begann er 1988 seine berufliche Laufbahn bei BASF. Nach mehreren Jahren in der Forschung folgten unterschiedliche Funktionen und Stationen im In- und Ausland.
- ▶ ist seit 2006 Mitglied des Vorstands, 2018 hat er den Vorsitz übernommen.
- ▶ hat zahlreiche Ehrenämter inne, u. a. ist er Präsident des Europäischen Chemieverbands, Cefic, Mitglied im Präsidium des Bundesverbands der Deutschen Industrie und Vizepräsident des deutschen Verbands der Chemischen Industrie, VCI.

sis dieser Informationen optimieren wir unsere Abläufe, setzen verstärkt CO<sub>2</sub>-reduzierte, erneuerbare Rohstoffe ein und bauen unser Portfolio von »Low-Carbon-Produkten« aus.

Wir bei BASF sind willens und auf einem guten Weg zur Klimaneutralität. Wir sind jedoch darauf angewiesen, dass auch die Politik ihre Hausaufgaben macht. Sie muss dafür sorgen, dass Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit Hand in Hand gehen. Vier Punkte sind essenziell:

**Erstens: Mehr Pragmatismus.** Europa verfügt bereits über eine der umfassendsten und effektivsten Chemikalien-Regulierungen weltweit. Mit dem Green Deal wird sie noch umfangreicher: Rund 14 000 Seiten sind schon zusammengelassen. Es braucht aber keine Regulierungswut mit der Brechstange, sondern Vorgaben, die sich pragmatisch umsetzen lassen.

**Zweitens: Mehr Tempo.** Fast alle klimafreundlichen Technologien basieren auf grüner Energie. Wir brauchen daher einen deutlich beschleunigten Ausbauplan für die Erneuerbaren in Europa. Die Ansätze für schnellere Planungs- und Genehmigungsverfahren sind gut. Sie müssen nun auch zügig Realität werden.

**Drittens: Mehr Offenheit.** Viele Technologien für eine klimaneutrale Zukunft kennen wir noch nicht. Wir müssen daher offen für Neues bleiben, statt mit Denkverboten Innovationen zu verhindern. Leider diskutieren wir in Europa mit viel Hingabe über mögliche Gefahren und verbannen neue Technologien – statt mit einer vernünftigen Risikoabwägung ihre Chancen zu nutzen.

**Viertens: Mehr Investitionsanreize.** Der klimaneutrale Umbau der Wirtschaft kostet viel Geld. Das Problem: Es sind oft noch Investitionen ohne Geschäftsmodell. Wir bei BASF gehen sie trotzdem an – aus unternehmerischer Verantwortung und als Teil des globalen Innovationswettlaufs. Gleichwohl braucht es Reallabore und eine unbürokratische Förderung, um Wachstum aus innovativen Denkansätzen zu generieren. Und: Pionierarbeit muss sich lohnen. Wie Anreizsysteme funktionieren, zeigen die USA eindrucksvoll mit dem »Inflation Reduction Act«.

Das Ziel von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sollte also lauten: Wir wollen eine grüne Transformation, die Klimaschutz, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit pragmatisch und wirksam verbindet. Nur so wird aus einer ambitionierten Vision eine Erfolgsgeschichte für alle. ■

## Interview

# »Ich möchte den Blick nach vorne richten«

60-Milliarden-Loch im Haushalt, Schulden-Stotterbremse, Zinswende: Im Interview plädiert Bundesfinanzminister Christian Lindner für Investitionen in die Zukunft. Gerade weil so viel liegen geblieben sei, »ist die Möglichkeit für Gestaltung besonders groß«.

Interview: Josef Oskar Seitz

Bundesfinanzminister Christian Lindner feiert am 7. Januar 2024 den 45. Geburtstag.





\_\_\_\_\_ **Herr Lindner, Politik wirkt in diesen Wochen wie Weihnachten: Jeder darf sich etwas wünschen. Sie tragen ja gerne einen weißen Bart – fühlen Sie sich wie der Weihnachtsmann?**

Wenn ich an die kreativen Wünsche nach Steuererhöhungen denke, eher wie Knecht Ruprecht.

\_\_\_\_\_ **Als Finanzminister haben Sie die Schuldenbremse hartnäckig verteidigt. Wo muss Deutschland aufs Gaspedal drücken?**

Der Handlungsbedarf in Deutschland ist für jeden erkennbar. Investitionen in Infrastruktur, Digitalisierung und Bildung müssen unsere Priorität sein. Dafür sind ausreichend öffentliche Mittel vorhanden, wenn wir vernünftig priorisieren. Und gerade mit Blick auf die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit können wir auch ohne Geld viel erreichen – ich denke da etwa an Entbürokratisierung und die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren.

\_\_\_\_\_ **Wir hatten den »Doppelwumms« für die Energiepreisbremsen, die »Zeitenwende« für die Bundeswehr, die »Bazooka« aus der Corona-Anfangszeit. Müssen Sie an Deutschlands Zukunftsfähigkeit sparen, damit wir in der Vergangenheit die Gegenwart bewältigen konnten?**

Krisen der Vergangenheit, aber auch der Umstand, dass die Zeit vor der Corona-Krise zu wenig für Zukunftsinvestitionen genutzt wurde, schränken in der Zeit der Zinswende unseren Handlungsspielraum ein. Ich möchte den Blick nach vorne richten. Weil so viel liegen geblieben ist, ist auch die Möglichkeit für Gestaltung besonders groß.

\_\_\_\_\_ **Bleibt hinter all dem Krisen-Wortgedonner noch Raum, um Zukunft zu gestalten?**

Krisenbewältigung und Zukunftsgestaltung gehen hier Hand in Hand. Wenn wir die größten Effekte der Krise betrachten – steigende Preise für fossile Energie, das Ende der Vernachlässigung unserer Bundeswehr –, dann waren das alles Aufgaben, die wir ohnehin hätten lösen müssen. Mancher würde sich dafür vielleicht mehr Zeit wünschen. Aber ein Wegducken vor diesen Aufgaben wäre für verantwortungsvolle Politik nicht möglich gewesen.

\_\_\_\_\_ **Wie wollen Sie sicherstellen, dass Deutschland für seine Zukunft ausreichend in Digitalisierung, Klimaschutz und Technologie investieren kann?**

»Es schmerzt mich nicht, Mittel einzusetzen – wenn sie gut in die Zukunftsfähigkeit des Landes angelegt sind. Das sind sie für mich vor allem bei Investitionen in Digitalisierung, Bildung und Forschung.«

Christian Lindner

Wie ich schon beschrieben habe: Durch Priorisierung im Haushalt investieren wir bereits auf Rekordniveau. Das ist die Seite der öffentlichen Mittel. Wir dürfen aber nicht vergessen: Sie machen in Deutschland nur einen von zehn Euro der Investitionen aus. Aus diesem Grund müssen wir vor allem Mittel auf der privaten Seite mobilisieren. Deswegen arbeite ich – etwa mit dem Zukunftsfinanzierungsgesetz – an besseren Bedingungen für private Investitionen. Mit dem Wachstumschancengesetz wiederum weiten wir die steuerliche Förderung von Forschung und Entwicklung aus.

\_\_\_\_\_ **Machen wir es konkret: Mit dem Wachstumschancengesetz befindet sich gerade eines der Vorzeigeprojekte Ihres Ministeriums in der Pipeline. Welche Effekte erhoffen Sie sich davon für den Innovationsstandort Deutschland?**

Um es kurz zu halten, will ich es auf drei Punkte runterbrechen: Entlastung für kleine und mittlere Unternehmen von Bürokratie, mehr Anreize für private Investitionen, bessere Bedingungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland.

\_\_\_\_\_ **Welche Rolle wird die Forschung für die Zukunft in Deutschland spielen?** ►



**1989: Digital Native**

Geboren ist Christian Lindner am 7. Januar 1979 in Wuppertal. Schon früh entdeckte der kleine Christian seine Liebe zur digitalen Kommunikation.



**2000: Frühstart**

Als jüngster Abgeordneter zieht Lindner mit 21 Jahren für die FDP in den nordrhein-westfälischen Landtag ein.



**2008: Spätberufen**

Aus Gewissensgründen hatte Lindner den Wehrdienst verweigert. Erst 2008 kam der Generalsekretär der NRW-FDP als Reservist zur Luftwaffe.



**2018: Kleine Bälle**

Hobby-Golfer Lindner sammelt beim GRK-Golf-Charity Masters in Leipzig Spenden für wohltätige Zwecke. Golf ist nicht das einzige Hobby. Lindner hat eine Rennfahrerlizenz, den Sportbootführerschein See und ist Hobby-Jäger.

Eine große. Denn anders als in den vergangenen Jahrzehnten reicht das reine Verwalten nicht mehr aus. Um unsere Zukunftsfähigkeit zu sichern, müssen wir neue Quellen des Wohlstands jetzt erst erschließen. Das Know-how dafür haben wir. Ich möchte – gemeinsam mit meiner Kollegin Bettina Stark-Watzinger – dafür sorgen, dass es auch beste Bedingungen hat.

**KI nur als ein Beispiel: Andere Volkswirtschaften – USA, China – investieren massiv, um Zukunftstechnologien zu unterstützen. Können wir es uns leisten, wenn Deutschland zurückfällt?**

Nein, das können wir uns natürlich nicht leisten. Ich glaube aber auch, dass es zielführender und auch nachhaltiger ist, gute Forschungs- und Standortbedingungen zu schaffen, als situativ einzelne Branchen zu subventionieren.

**Ist Technologieoffenheit für Sie mehr als ein Schlagwort?**

Wenn es für meine Partei und mich nur ein Schlagwort wäre, hätten wir uns viele harte Debatten in der Koalition sparen können. Weil es das eben nicht ist, haben wir sie entschlossen geführt. In den 90ern hätte wohl keiner – erst recht kein Politiker – vorhersagen können, was heute technisch möglich ist. Warum sollte das mit Blick auf die nächsten 30 Jahre anders sein? Deswegen werbe ich ausdrücklich dafür, nicht auf einseitige Lösungen zu setzen. Wenn sich bestimmte Technologien dann nicht durchsetzen, ist das in Ordnung – wir sollten sie uns aber nicht schon ohne Not für die Zukunft verbauen.

**Zukunftsfaktor Bildung: Hat Sie beim Thema Kinderarmut die Empörung überrascht, als Sie Sprachförderung und Integration, bessere Kitas und Schulen gefordert hatten, »statt den Eltern mehr Geld aufs Konto zu überweisen«?**

Jenseits der schrillen Töne in manchen Medien habe ich viel Zustimmung erfahren. Unverändert bin ich der Meinung, dass es unser Ziel sein muss, Menschen in Arbeit zu bringen und damit aus dem Bezug von Sozialleistungen heraus.

**Ihre Parteifreundin Bettina Stark-Watzinger leitet seit zwei Jahren das Ressort für Bildung und Forschung. Wie bewerten Sie die Zusammenarbeit mit dem Bildungsministerium?** Wir arbeiten eng und vertrauensvoll zusammen. So sind auch gemeinsam gute Initiativen

entstanden – etwa für mehr Mittel für die Bildung oder für eine verbesserte Finanzbildung in Deutschland.

**Ist es der FDP gelungen, dem Haus eine erkennbar liberale Handschrift zu verpassen?**

Aufgabe einer Partei ist es nicht, ein Haus zu prägen, sondern mit dem vorhandenen Know-how gute Politik fürs Land umzusetzen. Da hat das BMBF etwa mit der BAföG-Reform und der Exzellenzinitiative Berufliche Bildung schon wichtige Projekte umgesetzt und angestoßen. Das stärkt das Aufstiegsversprechen in Deutschland – ein liberales Kernanliegen.

**Zwei Jahre in der Regierung – wir sind beim Halbzeitstand. Was muss Bundestrainer Scholz seinen Spielern für die zweite Hälfte mit auf den Platz geben?**

Meine Aufgabe ist es nicht, dem Trainer Ratschläge zuzurufen – um in Ihrem Bild zu bleiben. Die Koalition muss die Herausforderungen lösen, etwa bei der Migration. Nicht weniger wichtig ist es, das Land auf einen wirtschaftlichen Erfolgsweg zurückzuführen. Das leitet mich bei meinem Handeln.

**Vier kurze Fragen: Wie stehen Sie zu einer Anhebung des Mindestlohns?**

Das ist eine Frage, die aus guten Gründen nicht die Politik, sondern die Tarifpartner über die Mindestlohn-Kommission beantworten.

**Zur Reichensteuer?**

Mir geht es darum, die arbeitende Mitte der Gesellschaft zu entlasten. Darauf konzentriere ich mich. Insgesamt betrachtet ist Deutschland bereits ein Hochsteuerland.

**Zur Reform der Erbschaftssteuer?**

Ich glaube, dass es bei der Besteuerung der Substanz eines Vermögens oder eines Erbes falsch wäre, diese weiter zu erhöhen. Oft genug handelt es sich um betriebliches Vermögen. Daran hängen Arbeitsplätze im Mittelstand. Reformbedarf sehe ich hingegen bei den Freibeträgen. Diese sind zuletzt 2009 festgelegt worden, seitdem gibt es deutliche Preissteigerungen. Ich bin daher offen für eine Reform – die in Richtung einer Erhöhung der Freibeträge geht. Dafür brauche ich aber die Länder an meiner Seite, denn ihnen allein stehen die Steuereinnahmen zu.

**Zu einem Staatsfonds für mehr Investitionen?**





»Mit dem Wachstumschancen-gesetz weiten wir die steuerliche Förderung von Forschung und Entwicklung aus.«

Christian Lindner

Unser Fonds für Investitionen ist der Bundeshaushalt. Wichtiger und wirkungsvoller als neue öffentliche Töpfe sind ohnehin bessere Bedingungen für private Investitionen.

\_\_\_\_\_ **Mindestlohn, Reichensteuer, Erbschaftssteuer, Staatsfonds: All das sind Vorschläge Ihres Koalitionspartners SPD. Wie verteidigen Sie eine gemeinsame Zukunft, wenn Mitglieder Ihrer Partei mit Blick auf die Ampel schon vom »Kasperletheater« sprechen oder von der »rot-grünen Zitronenpresse«, die Ihre Partei zerquetscht?**

Parteien sind dafür da, ihre politischen Vorstellungen klar und pointiert in Reinform darzustellen. Diese Freiheit nehmen wir uns als Freie Demokraten ja auch. Es ist keine Überraschung, dass die SPD ebenso wie die Grünen eine linke Partei ist. Es war von vornherein klar, dass uns die Aufgabe zukommt, den Regierungskurs in der Mitte zu halten. Wenn man sich das bisherige Regierungshandeln unvoreingenommen anschaut, ist uns das gelungen.

\_\_\_\_\_ **Die Ampel-Arbeit haben Sie so beschrieben: »Wir sind eine Regierung, wo gehämmert und geschraubt wird. Das führt zu Geräuschen. Aber es kommt auch war raus.« Der Satz hat Bundeskanzler Scholz so gut gefallen, dass er ihn gleich aufgegriffen hat. Auf welches »Herausgekommene« sind Sie persönlich stolz?**

Wir haben Bürgerinnen und Bürger und die Wirtschaft um einen dreistelligen Milliardenbeitrag entlastet. Das hätten dieser Koalition die wenigsten zugetraut. Ich erinnere dabei besonders an das Inflationsausgleichsgesetz. Damit haben wir erreicht, dass die arbeitende Mitte unserer Gesellschaft Anerkennung erfährt.

\_\_\_\_\_ **Nach all dem Krisen- und Haushaltsgezerre: Wofür geben Sie als Bundesfinanzminister eigentlich gerne Geld frei?**

Sie sitzen einem Mythos auf. Es schmerzt mich nicht, Mittel einzusetzen – wenn sie gut in die Zukunftsfähigkeit des Landes angelegt sind. Das sind sie für mich vor allem bei Investitionen in Digitalisierung, Bildung und Forschung.

\_\_\_\_\_ **Wofür gibt der Privatmann Lindner gerne Geld aus – und falls gutes Essen dabei sein sollte: auch gerne wieder mit 19 Prozent Mehrwertsteuer von Januar an?**

Über mein Privatleben wird ja schon oft genug mehr oder weniger zutreffend spekuliert. Das möchte ich so stehen lassen. Um Ihre eigentliche Frage zu beantworten: Die Absenkung der Mehrwertsteuer in der Gastronomie war ursprünglich eine befristete Maßnahme während der Corona-Zeit. Auf mein Betreiben hin wurde sie um ein Jahr verlängert. Jetzt aber kehren wir zur Normalität zurück. ■



#### 2020: Ermattet...

... in der Opposition? 2013 ist Christian Lindner Bundesvorsitzender der FDP – mit 34 Jahren als jüngster FDP-Parteichef.



#### 2021: Seltene Nähe

Legendär geworden ist das Schulterchluss-Selfie zum Ampel-Auftakt mit Volker Wissing, Annalena Baerbock, Christian Lindner und Robert Habeck.



#### 2022: Privates Glück

Auf Sylt feiert Lindner die kirchliche Trauung mit der damaligen RTL-Reporterin Franca Lehfeldt.



#### 2023: Finanz-Tiefschlag

60 Milliarden Euro fehlen im Haushalt: Nach der für sie völlig überraschenden Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts ringen Wirtschaftsminister Robert Habeck, Bundeskanzler Olaf Scholz und Finanzminister Lindner erst um Fassung – und dann um Milliarden.

# Effizient? Ultraeffizient!

Die Menschheit muss dringend fossile wie erneuerbare Ressourcen einsparen. Die Antwort aus dem Fraunhofer IPA auf diese Herausforderung lautet: Ultraeffizienzfabriken.

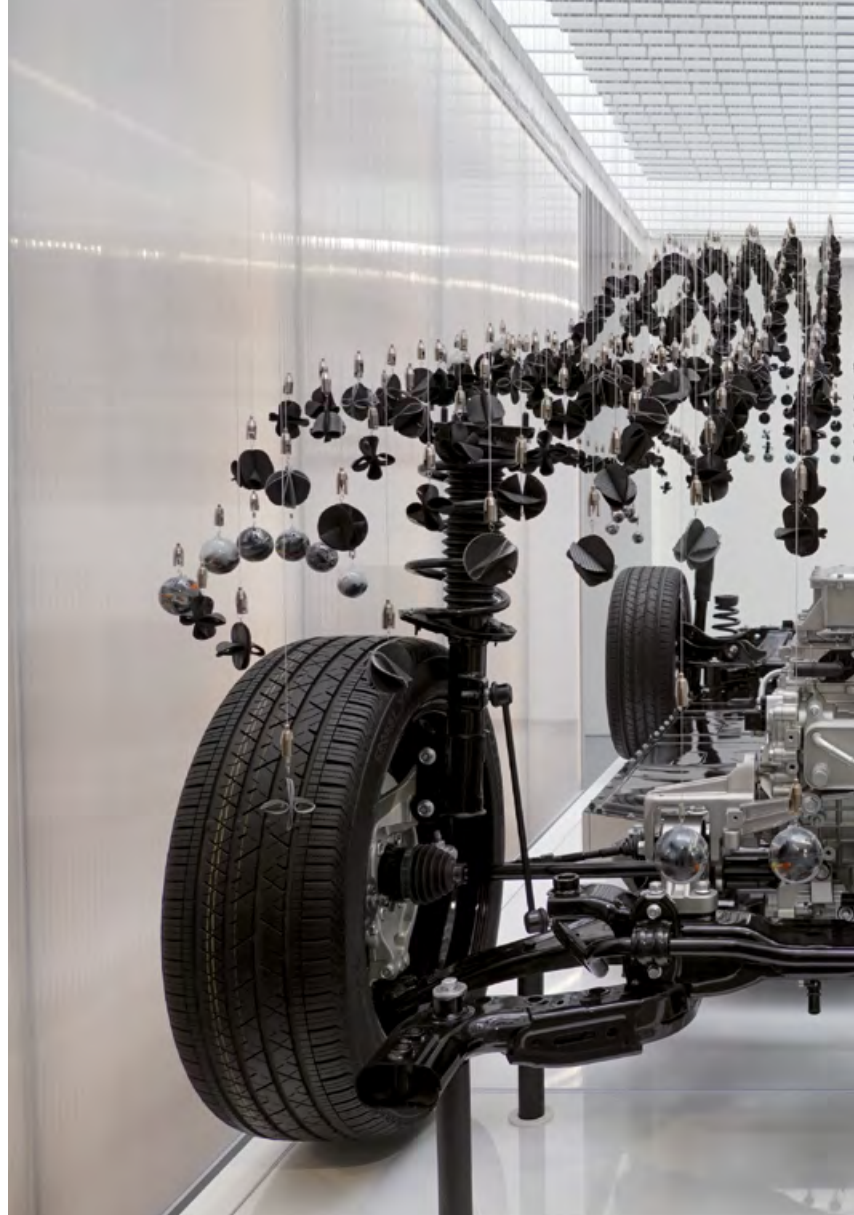
Von Dr. Janine van Ackeren

**A**m 2. August war es im Jahr 2023 wieder so weit: An diesem Tag waren alle natürlichen Ressourcen aufgebraucht, die die Erde innerhalb eines Jahres herstellen kann. Der »Earth Overshoot Day« (Weltüberlastungstag) symbolisiert die Tatsache, dass die Weltbevölkerung aktuell vom Ersparnen von Mutter Erde lebt. Und das wird eines Tages aufgebraucht sein.

»Wir müssen den hohen Verbräuchen dringend entgegenwirken«, mahnt Dr.-Ing. Markus Kröll, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Und das nicht allein durch ein »weniger«, sondern auch durch ein »mehr«: Ultraeffiziente Fabriken sollen nicht nur effizient produzieren, sondern die Effizienz noch eine Stufe weiter nach oben treiben, indem sie Energie, Material und Manpower optimal nutzen und dabei die Emissionen und Kosten auf ein Minimum senken – unterstützt von einer bestmöglichen Organisation. »Entscheidend dabei ist, eine gesamtheitliche Betrachtungsweise einzunehmen. Eine Verbesserung in einem Feld sollte möglichst keine Belastung in einem anderen mit sich bringen«, ergänzt Kröll. Was das im Alltagsleben eines Fabrikbetriebs heißen kann, lässt sich am besten anhand von Beispielen nachvollziehen.

## Vom Reallabor ...

Schwenk also zum »Hybriden Zentrum für Ultraeffizienzfabriken«, genauer gesagt zum Reallabor auf dem Campus Schwarzwald in Freudenstadt: Hier werden Reise-Mühlespiele inklusive Spielbrettern und Spielsteinen gefertigt und verpackt. Doch es geht keineswegs um die Spiele, die von den Bändern laufen. Sondern um die Frage, wie sich die Verbräuche für deren Produktion drosseln lassen. Sensoren an den Maschinen erheben daher Daten über Energieverbrauch, Leistung, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Ausschuss,



Verschnittmenge und vieles mehr. Diese werden an einen digitalen Leitstand gesendet, von dem aus die Forschenden am 80 Kilometer entfernten Fraunhofer IPA das Ganze kontrollieren und steuern können – daher auch der Begriff »hybrid« im Zentrumsnamen. Die Fernarbeitenden können etwa in einem 3D-Modus virtuell durch die Produktionshalle laufen und Holzbearbeitungsanlage, Presse, Spritzguss- und Verpackungsanlage sowie einen Roboter, der zukünftig die Montage übernimmt, inspizieren. Die entsprechenden Sensor-Messwerte werden dabei in Echtzeit eingeblendet.

»Über den virtuellen Leitstand haben wir die Effizienz der Demonstrator-Fertigung jederzeit im Blick und können auch Störfälle schnell aufspüren, die sich beispielsweise negativ auf den Energieverbrauch niederschlagen«, sagt David Koch, der seit einigen Jahren am Fraunhofer IPA forscht. Entsprechende Algorithmen aus dem Fraunhofer IPA werten die erhobenen Sensordaten aus und fahnden nach Zusammenhängen: Wie wirken sich Ver-





Maximale Effizienz in der Produktion:  
Auch die Autoindustrie (Foto:  
Installation des Herstellers Kia)  
könnte davon profitieren.



»Da jedes Unternehmen einzigartig ist, kann es keinen standardisierten Weg zur Ultraeffizienz geben.«

Dr.-Ing. Markus Kröll, Fraunhofer IPA

änderungen auf die Kennzahlen aus? Etwa eine häufigere Wartung der Maschinen oder die Umstellung von Wechsel- auf Gleichstrom auf den Energieverbrauch? Da der digitale Leitstand Echtzeit- und vor allem Open-Sourcebasiert ist, lässt er sich auch bei realen Unternehmen einsetzen, um einen Überblick über den aktuellen Zustand der Produktion zu bekommen und diesen auszuwerten.

Großes Einsparpotenzial zeigt die Ultraeffizienzfabrik beispielsweise rund um Druckluftprozesse auf. »In Deutschland sind etwa 62 000 solcher Anlagen in Betrieb; die Druckluftherzeugung ist für 7 Prozent des Stromverbrauchs in der Industrie verantwortlich. Indem wir Leckagen identifizieren und vermeiden, lassen sich bis zu 30 Prozent dieser Energie einsparen«, konkretisiert Kröll. Wenn die Betriebe von Wechselstrom auf Gleichstrom umrüsten, sind weitere rund 10 Prozent Energieersparnis drin – und das nicht nur bei Druckluftprozessen. Grund dafür sind weniger Wandlungsverluste. Ein weiterer Vorteil von Gleichstrom: Bis zu 98 Prozent der Netzstörungen werden vermieden. Material wiederum lässt sich über additive statt spanende Fertigung einsparen, genauer gesagt über die Nutzung von 3D-Druckern.

Wichtig für eine ultraeffiziente Fabrik sind jedoch nicht nur die Größen, die über Sensoren einfach zugänglich sind, sondern auch die Organisation der Prozesse. »Diese gießen wir über die Kennzahl der Overall Equipment Efficiency, kurz OEE, in vergleichbare Zahlen, die dann mit in die Optimierung einfließen«, sagt Koch. Da der Faktor Mensch einen erheblichen Einfluss auf die Ultraeffizienz eines Betriebes hat, spielen auch die Arbeitsbedingungen der Belegschaft mit hinein. Dazu vermessen die Forschenden unter anderem den Lärmpegel und das Raumklima, um auch hier Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Künftig soll zudem der Stresslevel der Arbeitenden mit betrachtet werden. Ermittelt wird er über Wearables, also am Körper getragene Sensoren, mit denen Freiwillige ausgestattet werden.

### ... über eine Fabrik für E-Auto-Motoren ...

»Da jedes Unternehmen einzigartig ist, kann es jedoch keinen standardisierten Weg zur Ultraeffizienz geben. Auch die ganzheitliche Betrachtungsweise erfordert es, jedes Unternehmen individuell unter die Lupe zu nehmen, Potenziale der Ultraeffizienz für jeden Einzelfall zu definieren und ein darauf zugeschnittenes Konzept zu entwickeln«, betont Kröll. Genau dies tun die Forschenden im Projekt »Innovationslabor Ultraeffizienzfabrik, kurz UltraELab« – und bringen die ultraeffiziente Fabrik damit einen weiteren Schritt Richtung Anwendung. Bei der Firma Schaeffler Automotive Buehl GmbH & Co. KG haben das Fraunhofer IPA, die Universität Stuttgart und das Karlsruher Institut für Technologie KIT hierfür ►

einen Teil einer Produktionsanlage für E-Auto-Motoren unter Ultraeffizienzgesichtspunkten konzipiert und geplant. Die Ergebnisse sollen langfristig im Sinne eines Reallabors genutzt werden, um weitere Anlagen, Produktionsprozesse und Unternehmen zu transformieren.

Nun steht die zweite Phase an, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit zehn Millionen Euro gefördert wird. Damit geht es jetzt ans Eingemachte: Die Produktionsanlage wird unter Ultraeffizienzgesichtspunkten aufgebaut, die Effekte der Maßnahmen werden im laufenden Betrieb verglichen und bewertet. Halten sie, was sich die Forschenden davon versprechen? »Eine der wichtigsten Grundlagen für die Umsetzung einer Ultraeffizienzfabrik ist es, größtmögliche Transparenz zu schaffen: Wie sehen die Stoff- und Energieflüsse aus? Wie die Prozesse und Tätigkeiten?«, sagt Kröll. Realität werden soll diese Transparenz über ein Ultraeffizienz-Managementsystem, bei dem alle Dimensionen der Ultraeffizienz betrachtet werden, also alle fünf Handlungsfelder Energie, Material, Emissionen, Mensch und Organisation.

Den Forschenden des Fraunhofer IPA geht es bis zum Ende der Projektlaufzeit 2025/26 vor allem darum, konkrete Potenziale und damit verbunden sinnvolle Kennzahlen zu identifizieren. Etwa: In puncto Material ist ein Einsparpotenzial von zehn Prozent realistisch. Forschungsfragen, die sich hierzu dem Fraunhofer-Team im Projekt stellen werden: Welche Eingangsgrößen braucht man, um solche Kenngrößen berechnen zu können? Wie lassen sich die entsprechenden Datenquellen, etwa Sensoren, anbinden, die Daten verarbeiten und die erhaltenen Kennzahlen für die Nutzer des Managementsystems graphisch darstellen? »Schlussendlich soll das Managementsystem die Entscheidungsträger der Schaeffler GmbH dabei unterstützen, die Effizienz in allen fünf Handlungsfeldern zu verbessern«, sagt Koch.

In einem weiteren Ultraeffizienzprojekt möchten die Wissenschaftler untersuchen, wie sich die verschiedenen Ultraeffizienz-Maßnahmen gegenseitig beeinflussen. Welche Wechselwirkungen gibt es, welche Zielkonflikte entstehen? So wäre beispielsweise vorstellbar, dass sich durch Änderungen im Prozess zwar Material einsparen lässt, dies aber zu einem höheren Energieverbrauch führt. »Dieses Spannungsfeld wollen wir beleuchten – und Zielkon-

flikte so auflösen, dass wertvolle Synergieeffekte entstehen. Sprich: Alle Handlungsfelder sollten durch die Anpassung besser werden, als dies durch einzelne Anpassungen möglich wäre«, sagt Koch. Für dieses Projekt sind die Forschenden noch auf der Suche nach interessierten Unternehmen.

### ... bis hin zu einem gesamten Gewerbegebiet

Noch weiter öffnet sich der Fokus der Forschenden im Gewerbegebiet Fellbach bei Stuttgart. »Hier lösen wir uns davon, die Ultraeffizienz nur auf der Ebene einer einzelnen Fabrik zu betrachten, sondern identifizieren das Potenzial für das gesamte Gewerbegebiet«, erläutert Koch. Das Projekt läuft im Rahmen der Internationalen Bauausstellung 2027. Die erste Phase wurde kürzlich abgeschlossen; sie dauerte etwa ein halbes Jahr und wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert. Die Herausforderung

liegt vor allem darin, die Massen- und Energieströme zu identifizieren und die Bedarfe miteinander in Einklang zu bringen. Dazu haben die Forschenden zunächst Umfragen bei den verschiedenen Unternehmen durchgeführt. Eines der Ergebnisse: Während die Landwirte viel Wasser brauchen, um ihre Felder zu bewässern, müssen zahlreiche Gewerbetreibende eine Regenwassergebühr bezahlen, die sich nach der Größe der versiegelten Flächen bemisst. Würden die Landwirte das gesammelte Regenwasser des Gewerbegebiets für die Bewässerung nutzen, wären die Einsparungen erheblich: Die Landwirte könnten jährlich Frischwasser im Wert von bis zu 10 000 Euro einsparen, für die Gewerbetreibenden wären bis zu 1000 Euro Ersparnis pro Jahr drin. Nicht eingerechnet ist hier der Invest – schließlich müsste die entsprechende Infrastruktur zunächst aufgebaut werden.

Eine zweite Phase des Projekts beinhaltet den Aufbau eines Tools, das eine ähnliche Analyse für andere Gewerbegebiete erlaubt, sowie die wissenschaftliche Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen. Die Forschenden setzen über die Ultraeffizienzfabriken also alles daran, den »Earth Overshoot Day« in den kommenden Jahren und Jahrzehnten Stück für Stück weiter nach hinten zu verschieben. ■

»Dieses Spannungsfeld wollen wir beleuchten – und Zielkonflikte so auflösen, dass wertvolle Synergieeffekte entstehen.«

David Koch, Fraunhofer IPA



## **Staffellauf des Wissens**

***Nachhaltigkeit  
oder Sicherheit  
?***

einen Teil einer Produktionsanlage für E-Auto-Motoren unter Ultraeffizienzgesichtspunkten konzipiert und geplant. Die Ergebnisse sollen langfristig im Sinne eines Reallabors genutzt werden, um weitere Anlagen, Produktionsprozesse und Unternehmen zu transformieren.

Nun steht die zweite Phase an, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit zehn Millionen Euro gefördert wird. Damit geht es jetzt ans Eingemachte: Die Produktionsanlage wird unter Ultraeffizienzgesichtspunkten aufgebaut, die Effekte der Maßnahmen werden im laufenden Betrieb verglichen und bewertet. Halten sie, was sich die Forschenden davon versprechen? »Eine der wichtigsten Grundlagen für die Umsetzung einer Ultraeffizienzfabrik ist es, größtmögliche Transparenz zu schaffen: Wie sehen die Stoff- und Energieflüsse aus? Wie die Prozesse und Tätigkeiten?«, sagt Kröll. Realität werden soll diese Transparenz über ein Ultraeffizienz-Managementsystem, bei dem alle Dimensionen der Ultraeffizienz betrachtet werden, also alle fünf Handlungsfelder Energie, Material, Emissionen, Mensch und Organisation.

Den Forschenden des Fraunhofer IPA geht es bis zum Ende der Projektlaufzeit 2025/26 vor allem darum, konkrete Potenziale und damit verbunden sinnvolle Kennzahlen zu identifizieren. Etwa: In puncto Material ist ein Einsparpotenzial von zehn Prozent realistisch. Forschungsfragen, die sich hierzu dem Fraunhofer-Team im Projekt stellen werden: Welche Eingangsgrößen braucht man, um solche Kenngrößen berechnen zu können? Wie lassen sich die entsprechenden Datenquellen, etwa Sensoren, anbinden, die Daten verarbeiten und die erhaltenen Kennzahlen für die Nutzer des Managementsystems graphisch darstellen? »Schlussendlich soll das Managementsystem die Entscheidungsträger der Schaeffler GmbH dabei unterstützen, die Effizienz in allen fünf Handlungsfeldern zu verbessern«, sagt Koch.

In einem weiteren Ultraeffizienzprojekt möchten die Wissenschaftler untersuchen, wie sich die verschiedenen Ultraeffizienz-Maßnahmen gegenseitig beeinflussen. Welche Wechselwirkungen gibt es, welche Zielkonflikte entstehen? So wäre beispielsweise vorstellbar, dass sich durch Änderungen im Prozess zwar Material einsparen lässt, dies aber zu einem höheren Energieverbrauch führt. »Dieses Spannungsfeld wollen wir beleuchten – und Zielkon-

flikte so auflösen, dass wertvolle Synergieeffekte entstehen. Sprich: Alle Handlungsfelder sollten durch die Anpassung besser werden, als dies durch einzelne Anpassungen möglich wäre«, sagt Koch. Für dieses Projekt sind die Forschenden noch auf der Suche nach interessierten Unternehmen.

### ... bis hin zu einem gesamten Gewerbegebiet

Noch weiter öffnet sich der Fokus der Forschenden im Gewerbegebiet Fellbach bei Stuttgart. »Hier lösen wir uns davon, die Ultraeffizienz nur auf der Ebene einer einzelnen Fabrik zu betrachten, sondern identifizieren das Potenzial für das gesamte Gewerbegebiet«, erläutert Koch. Das Projekt läuft im Rahmen der Internationalen Bauausstellung 2027. Die erste Phase wurde kürzlich abgeschlossen; sie dauerte etwa ein halbes Jahr und wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert. Die Herausforderung

liegt vor allem darin, die Massen- und Energieströme zu identifizieren und die Bedarfe miteinander in Einklang zu bringen. Dazu haben die Forschenden zunächst Umfragen bei den verschiedenen Unternehmen durchgeführt. Eines der Ergebnisse: Während die Landwirte viel Wasser brauchen, um ihre Felder zu bewässern, müssen zahlreiche Gewerbetreibende eine Regenwassergebühr bezahlen, die sich nach der Größe der versiegelten Flächen bemisst. Würden die Landwirte das gesammelte Regenwasser des Gewerbegebiets für die Bewässerung nutzen, wären die Einsparungen erheblich: Die Landwirte könnten jährlich Frischwasser im Wert von bis zu 10 000 Euro einsparen, für die Gewerbetreibenden wären bis zu 1000 Euro Ersparnis pro Jahr drin. Nicht eingerechnet ist hier der Invest – schließlich müsste die entsprechende Infrastruktur zunächst aufgebaut werden.

Eine zweite Phase des Projekts beinhaltet den Aufbau eines Tools, das eine ähnliche Analyse für andere Gewerbegebiete erlaubt, sowie die wissenschaftliche Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen. Die Forschenden setzen über die Ultraeffizienzfabriken also alles daran, den »Earth Overshoot Day« in den kommenden Jahren und Jahrzehnten Stück für Stück weiter nach hinten zu verschieben. ■

»Dieses Spannungsfeld wollen wir beleuchten – und Zielkonflikte so auflösen, dass wertvolle Synergieeffekte entstehen.«

David Koch, Fraunhofer IPA



## Staffellauf des Wissens

***Frau Prof. Büttner,***  
**was ist bei der**  
***Lebensmittel-***  
***Versorgung wichtiger:***  
***Nachhaltigkeit***  
***oder Sicherheit***  
***und Qualität?***

## Staffellauf des Wissens, Folge 10

# Frau Prof. Büttner, was ist bei der Lebensmittel- Versorgung wichtiger: Nachhaltigkeit oder Sicherheit und Qualität?

### **Serie:**

### **Staffellauf des Wissens**

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

**U**m zu verstehen, was bei der Lebensmittel- und Ernährungsversorgung am wichtigsten, nur wichtig oder sogar unnötig ist, muss man den Blick auf die grundsätzliche Wahrnehmung beziehungsweise Wahrnehmbarkeit von Versorgungssicherheit richten.

Wie sehr es für Menschen und Gesellschaften (selbst für hoch technologisierte und solche mit hohem Bildungsstandard) eine Herausforderung sein kann, Versorgungssicherheit auch unter Rahmenbedingungen zu denken und zu planen, die man für unwahrscheinlich oder gar undenkbar hält, haben wir erfahren. Temporär fehlte es selbst bei uns, wo doch flächendeckend die Versorgung durch Supermärkte gesichert scheint, an Gütern für tägliche Grundbedürfnisse wie Toilettenpapier und manchen Lebens- oder Genussmitteln. Das hat viele alarmiert.

Dabei galt die Versorgung der Bevölkerung mit dem Lebensnotwendigen historisch immer wieder als die primäre Staatsaufgabe: Wasser, Nahrung, Bekleidung, Unterkunft sowie eine Basisversorgung mit Energie. Heute verschwimmt der Versorgungsgedanke zunehmend. Die Dimensionierung der Grundversorgung steht in einem Spannungsfeld mit dem Narrativ der Sicherung des Wohlstands: Wie viel muss sein, darf's a bisserl mehr sein?



Generell wird eine starke Wirtschaft als Garant für die Versorgungssicherheit gesehen. Die Frage bleibt: Welche Aufgabe hat dann das Staatswesen? Es setzt den Rahmen für freies gesichertes Wirtschaften zur Sicherung der Versorgung. Die intrinsisch die Nachhaltigkeit umfasst, umfassen muss. Niemand muss in die Glaskugel schauen, dass es einiger Anstrengungen bedarf, um die Versorgung zu sichern. Fokussiert werden soll hier gerade die Basis, die grundlegende Versorgung. Ihre Sicherstellung muss auch das Auftreten von Unvorhergesehenem, Unerwartetem umfassen – überspitzt sogar von Unvorhersehbarem und Undenkbarem.

### Essenzielle »Gedankenexperimente«

Eine solche Form der Antizipation verschiedener Zukünfte bedarf einer sorgfältigen Lage- und Szenarienbetrachtung, der Imaginationskraft für diverse Situationen und Gegebenheiten. Von diesen erst können sich heute mögliche Maßnahmen und Strategien ableiten, aber auch solche, die wir mit entsprechender Vor- und Entwicklungsarbeit erst in 5, 10, 20 Jahren werden realisieren können. Auch die müssen wir heute vordenken. In einem echten Strategieprozess, der in einer ungewissen Zukunft endet, sind diese Prozesse die essenziellen »Gedankenexperimente«, sie sind realistisch und nicht, wie oft leichtfertig



Plädiert für fantasievolle Vorausschau:  
Prof. Andrea Büttner, Leiterin des  
Fraunhofer IVV.

unterstellt, Hirngespinnste und Fantasteereien. Deshalb hat sich in Fraunhofer eine Allianz der Willigen zusammengetan, um gemeinsam an diesen Fragen zu arbeiten.

Ich denke, dass gerade deshalb der Mensch nicht nur mit »Vernunft«, sondern auch mit Vorstellungsvermögen und »Fantasie« begabt ist. Für mich ist dies der wesentliche Faktor für unsere bisherige hohe Resilienz und Überlebensfähigkeit, denn nur fantasievolle Vorausschau ermöglicht notwendige, immer neue Formen von Entwicklung und Adaptation. Persönlich kann ich sagen, dass gerade die vergangenen zehn Jahre mich nachdenklicher gemacht haben als je zuvor. Es ist Zeit für die Re-

flexion einer möglichen Zunahme fahrlässigen, böswilligen, kriminellen Handelns in unserem stark verzweigten globalen Ernährungssystem – gerade unter Druck. Es ist auch höchste Zeit, dass wir alle uns einstellen auf real mögliche und denkbare Situationen, dass wir Überlegungen zu möglichen Zukünften gemeinsam gestalten und notwendige Strategien, Maßnahmen und Technologien gemeinsam ableiten. Wir dürfen uns nicht dauerhaft mit diesen beiden allzu schlicht gewordenen Antworten begnügen:

1. Es geht darum, heute wirtschaftlich erfolgreich zu sein.
2. Wer sollte daran Interesse haben, das zu finanzieren?

Mein Beweggrund, 2006 zu Fraunhofer zu wechseln, war im Kern, folgende Fragen gemeinsam zu beantworten – und er ist es im Prinzip noch heute: Was muss geschehen, welche Kompetenzen müssen gebündelt werden, welche Prozesse gestartet werden, um zu erreichen, was für viele in so weiter Ferne liegt: eine gesicherte Versorgung mit werthaltigen, sicheren Lebensmitteln. Aus meiner Sicht eine Frage der Strategie. Der Kultur. Der Überzeugung. Der Vision. Und der Mission. Es gilt, sie gemeinsam zu gestalten. Mit der gebotenen Vorausschau. Dies führt mich zur Staffeltab-Frage für die nächste Ausgabe des Fraunhofer-Magazins. ■

Es ist Zeit für die **Reflexion** einer möglichen **Zunahme fahrlässigen, kriminellen Handelns** in unserem stark verzweigten **globalen Ernährungssystem** – gerade unter **Druck**.

#### In der nächsten Ausgabe:

Wie erreichen wir gemeinsam eine **neutrale Haltung** für die **besten Lösungen** – ohne die Dominanz von **Partialinteressen** – angesichts aktueller und möglicher **Krisen**?



# PFAS

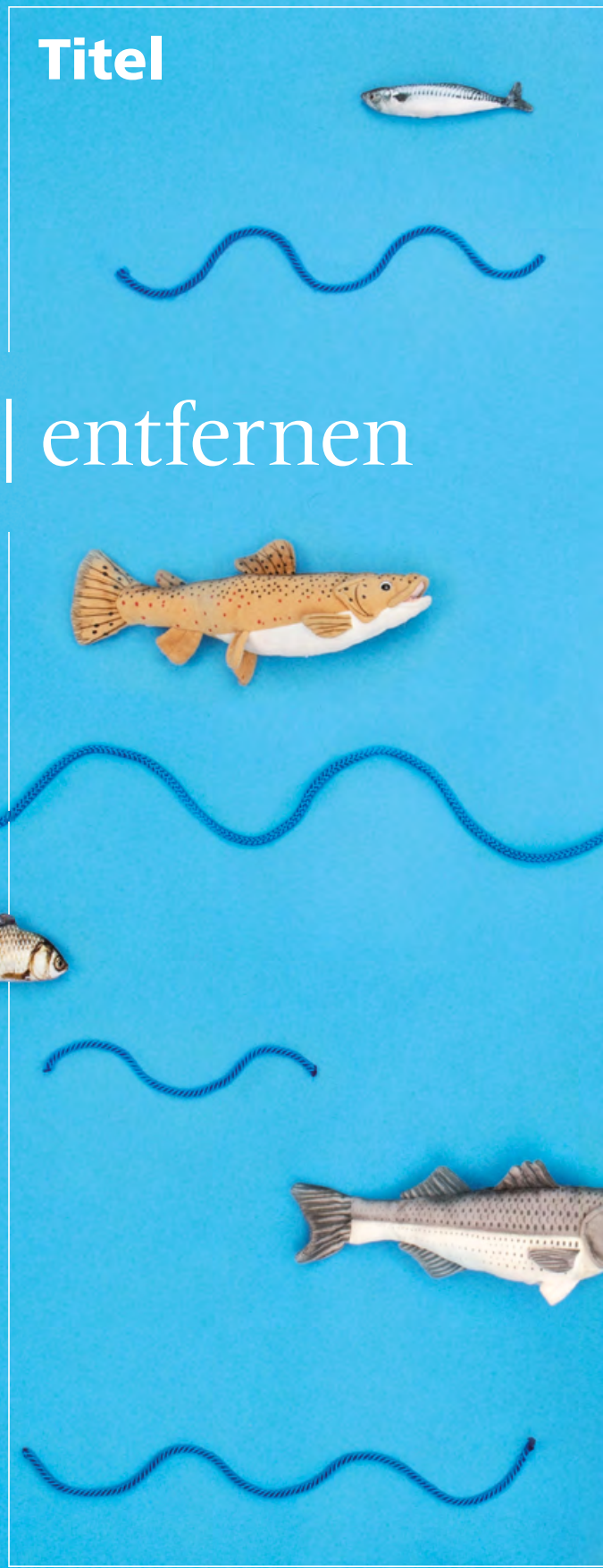
erkennen | ersetzen | entfernen

Giftige PFAS gefährden unser Wasser. Jetzt sollen sie europaweit verboten werden. Das stellt die Industrie vor gewaltige Probleme, denn die Ewigkeitschemikalien sind für viele Produkte und Prozesse essenziell.

Von Dr. Sonja Endres, Fotografie: Jan von Holleben



Titel







Wasserstoff für die Energiewende gewinnen ohne PFAS? Bisher unmöglich. Dr. Taybet Bilkay-Troni vom Fraunhofer IAP arbeitet an PFAS-freien Elektrolyseuren, die Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff spalten.



**P**FAS gelten seit mehr als 70 Jahren als Wundermittel für die Industrie. Doch Anfang 2023 gab die Europäische Chemikalienagentur ECHA bekannt, dass damit bald Schluss sein soll. Sie empfiehlt der EU-Kommission ein Verbot der per- und polyfluorierten Alkylverbindungen. So schnell und so weitreichend wie möglich.

»Seit der Ankündigung der ECHA rennen uns die Unternehmen förmlich die Türen ein«, berichtet Dr. Stefan Löbbecke, Sprecher der Fraunhofer-Allianz Chemie. Die Zahl der Anfragen nach Ersatz-Chemikalien, umwelt- und humantoxikologischen Bewertungen verschiedener PFAS-Materialien, Recycling-, Filter- und Reinigungstechnologien sei in den vergangenen Monaten exponentiell gestiegen. Sehr ernst fügt Löbbecke hinzu: »Ich kann die Sorgen und Nöte der Firmen verstehen, die sich teilweise von einem Verbot existenziell bedroht fühlen.«

PFAS stecken in Alltagsprodukten wie beschichteten Pfannen, Pizzakartons, Outdoorjacken, aber auch in Medizintechnik, Wärmepumpen, Batterien. Als Prozesschemikalien kommen PFAS beispielsweise in der Halbleiterindustrie zum Einsatz, wo sie in Mikrochips Strukturen ätzen. Sie sind wasser-, schmutz- und ölabweisend, hohe Temperaturen und aggressive Chemikalien können ihnen nichts anhaben, auch gegen Bakterien oder Licht sind sie unempfindlich. Kaum eine andere chemische Substanz kann es mit ihnen aufnehmen, so einzigartig sind ihre Eigenschaften – entsprechend häufig werden sie genutzt. Es gibt PFAS mittlerweile in zahlreichen Varianten, laut US-Umweltschutzbehörde gehören rund 15 000 Stoffe dazu.

Doch sind die farb-, geruch- und geschmacklosen Substanzen nicht nur vielseitig einsetzbar, sondern in vielen Fällen auch nachweislich giftig. Sie können Krebs verursachen, unfruchtbar machen, das Immunsystem schwächen. Und: Die industriell erzeugten, extrem stabilen Kohlenstoff-Fluor-Verbindungen, die für PFAS charakteristisch sind, kommen in der Natur nicht vor und können von ihr nicht abgebaut werden. Einmal in die Umwelt ge-

langt, bleiben PFAS dort für immer, weshalb sie in der öffentlichen Diskussion oft Ewigkeitschemikalien oder Jahrhundertgifte genannt werden. Eine Studie des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2020, in der Kinder im Alter zwischen drei und 17 Jahren untersucht wurden, wies PFAS im Blut aller Probandinnen und Probanden nach.

Einmal in die Umwelt gelangt, bleiben PFAS dort für immer, weshalb sie in der öffentlichen Diskussion oft Ewigkeitschemikalien oder Jahrhundertgifte genannt werden.



Trotz aller Gefahren: Ein kompletter Verzicht von heute auf morgen ist bei vielen Anwendungen undenkbar. In zahlreichen Projekten arbeiten Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher jedoch daran, Alternativen zu entwickeln, die Einträge von PFAS in die Umwelt Schritt für Schritt zu reduzieren und durch verbesserte Filter- und Reinigungstechnologien dafür zu sorgen, dass nicht mehr so viele der Ewigkeitschemikalien in Gewässer, Organismen und Böden gelangen, sich dort anreichern und ausbreiten.

**Auch sind PFAS nicht gleich PFAS:** Eine differenzierte Risikobewertung der einzelnen Verbindungen ist wichtig, um solche mit besonders hohem Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt schneller aus dem Verkehr zu ziehen. Im Fall von PFOS (Perfluorooctansulfonsäure), PFOA (Per-

fluorooctansäure) und PFHxS (Perfluorhexansulfonsäure) ist das bereits geschehen. Nur in wenigen Ausnahmefällen ist ihr Gebrauch noch erlaubt. Seit dem 25. Februar 2023 ist auch das Inverkehrbringen, die Herstellung und die Verwendung von perfluorierten Carbonsäuren, von denen PFNA (Perfluorononansäure) die bekannteste ist, beschränkt.

Die Substanzen gehören alle zu der Gruppe der PFAS, die aus langen Kohlenstoffketten bestehen. Sie reichern sich in Organismen entlang der Nahrungskette an, ausgeschieden werden sie kaum. Am Ende der Nahrungskette steht der Mensch. Dort binden sich die Stoffe an Proteine im Blut, in Niere und Leber, bleiben jahrelang und können ihre schädigende Wirkung entfalten. Während der Schwangerschaft werden sie über die Plazenta auf das ungeborene Kind übertragen und auch über die Muttermilch weitergegeben.

Die Industrie ist inzwischen häufig auf kurzkettige PFAS umgestiegen, die sich aus maximal sechs perfluorierten Kohlenstoffatomen zusammensetzen. Diese reichern sich zwar weniger im Organismus an, sind jedoch mobiler, werden im Boden nicht zurückgehalten und erreichen schnell das Grundwasser, das oft für die Trinkwasserversorgung genutzt wird.

## # erkennen

Mögliche Gefährdungen durch verschiedene PFAS im Trinkwasser identifizieren will das Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM im Projekt ZeroPM zusammen mit 15 europäischen Partnern. Dr. Annette Bitsch, Bereichsleiterin Chemikaliensicherheit: »Es ist nicht trivial zu sagen, der eine Stoff ist gefährlicher als der andere. Die ganzheitliche Betrachtung der einzelnen Substanzen ist wichtig. Ein Grunddogma der Toxikologie lautet: Das Risiko berechnet sich aus der Gefährdung, die dem Stoff innewohnt, und der Exposition, also wie häufig komme ich damit in Kontakt?« Dafür analysiert sie Studiendaten und wissenschaftliche Publikationen. »Dabei zeigt sich ziemlich



schnell, welche Stoffe kritisch sind.« Daher sei es auch wenig überraschend, dass der Einsatz von PFOS, PFOA, PFHxS und PFNA als Erstes beschränkt wurde.

Auch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA hat sich bei ihrem jüngsten Gutachten aus dem Jahr 2020 auf diese vier Verbindungen konzentriert und einen Schwellenwert für die maximale Aufnahmemenge pro Woche festgelegt, die als gesundheitlich unbedenklich gilt. Er liegt bei 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht. »Das entspricht nur etwa 0,00003 Milligramm pro Person täglich«, verdeutlicht Bitsch. Am häufigsten sind die Stoffe in Trinkwasser, Fisch, Obst, Eiern und Eiprodukten zu finden.

Für den Plan der Europäischen Chemikalienagentur ECHA, die Beschränkungen bald auf alle PFAS auszuweiten, äußert Bitsch Verständnis: »Das ist ja eine riesige Gruppe an Stoffen mit vielen Subkategorien. Bis die toxikologisch alle sauber durchbewertet sind, vergehen Jahrzehnte. So lange können wir nicht mehr warten.« Ausnahmen, zum Beispiel, weil der Stoff für bestimmte medizinische Anwendungen notwendig ist, die Nutzen-Risiko-Abwägung für eine weitere Verwendung spricht, oder die Unbedenklichkeit wissenschaftlich erwiesen ist, seien immer noch möglich. Die Nachweispflicht liege aber bei der Industrie.

**Die Dringlichkeit einer EU-Regulierung** bestätigen auch die jüngsten Forschungsergebnisse des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME, die im Januar 2023 veröffentlicht wurden. In der SumPFAS-Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes kommen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu dem Schluss, dass PFAS wesentlich weiter verbreitet sind als bisher angenommen. Dr. Bernd Göckener, Abteilungsleiter Spurenanalytik und Umweltmonitoring am Fraunhofer IME: »Selbst in kleineren Flüssen fanden wir schon größere Mengen – auch an unbekannteren PFAS. Oftmals ist es also kein lokales Problem mehr, sondern ein generelles. PFAS sind einfach überall.«

Zusammen mit seinem Team untersuchte er rund 200 Schwebstoff- und Sedimentproben aus 170 Flüssen und Seen in ganz Deutschland und verglich sie mit archivierten Proben aus der Umweltprobenbank des Bundes, die seit den 1980er-Jahren die Chemikalienbelastung in der Umwelt und im Menschen dokumentiert. Die gute Nachricht: Die Belastung der Gewässer mit langkettigen PFAS hat abgenommen, die Verbote der EU wirken. Die schlechte: Mit einer modifizierten Analytik, die auch sogenannte Vorläufersubstanzen erfasst, ermittelten Göckener und sein Team eine bis zu 346-mal höhere PFAS-Gesamtkonzentration als mit den klassischen Untersuchungsmethoden. Vorläufersubstanzen oxidieren, einmal in die Umwelt ausgebracht, zu den klassischen PFAS. Göckener: »Man wird diese Tausenden von Substanzen analytisch nie ganz fassen. Wir gehen davon aus, dass die Belastung sehr viel höher ist, als wir messen können.«

»Man wird diese Tausenden von Substanzen analytisch nie ganz fassen. Wir gehen davon aus, dass die Belastung sehr viel höher ist, als wir messen können.«

Dr. Bernd Göckener  
Fraunhofer IME



Besonders viele PFAS fanden Göckener und sein Team flussabwärts von großen Kläranlagen und PFAS produzierenden oder verarbeitenden Industrien. Die Ewigkeitschemikalien gelangen vor allem über das Abwasser in die Flüsse und landen schließlich in der Nord- oder Ostsee. »Die Meere sind das große Auffangbecken für

alle PFAS weltweit. Dort werden sie sich immer weiter anreichern«, ist Göckener überzeugt.

## # ersetzen

Es sei denn, es gelingt, PFAS-Alternativen zu entwickeln und so den beständigen Zulauf zumindest zu reduzieren. Daran arbeitet Dr. Jakob Barz am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. Er nutzt Plasmatechnologie für die Funktionalisierung verschiedener Materialoberflächen, macht sie zum Beispiel chemikalienstabil, schmutz-, wasser- oder eisabweisend. Barz: »Bei vielen Anwendungen braucht man PFAS-Beschichtungen strenggenommen gar nicht. Nur richtig gute Ölabweisung bekommen wir noch nicht hin.«

Je nach gefordertem Eigenschaftsprofil bringt er in das Plasma verschiedene chemische Stoffe ein. »Die Moleküle werden auseinandergebrochen. Die einzelnen Fragmente reagieren an der Materialoberfläche und bilden dort eine Polymerschicht. Welches Polymer entsteht, hängt immer davon ab, welche Substanzen ich unter welchen Prozessbedingungen in mein Plasma gebe.« Ein Vorteil der Plasmabeschichtung: Sie kann sehr dünn aufgebracht werden, sodass sie sich wie ein Film über die Oberfläche legt. Strukturen oder Poren bleiben erhalten und werden nicht verstopft – ideal beispielsweise für die Beschichtung von Lötmasken für Computerplatinen oder von Membranen für die Abwasser-Filtration. Beides Anwendungen, bei denen heute PFAS zum Einsatz kommen.

Für die wasserabweisende Beschichtung von Outdoor-Textilien setzen die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IGB hingegen auf einen biobasierten, nachhaltigen Ersatzstoff: Chitosan. Er bildet eine robuste Hülle um die Textilfaser und sorgt so für eine bessere Abriebbeständigkeit. Gewonnen wird er unter anderem aus Krustentieren. In der EU fallen jährlich rund 250 000 Tonnen Schalenabfälle an, weltweit mehr als 6 Millionen – eine ►



ergiebigste Rohstoffquelle. Auch Insektenhäute und -panzer, ein häufiger Reststoff bei der Tierfutterproduktion, enthalten Chitin, aus dem Chitosan hergestellt wird. »Chitosan ist wesentlich reaktiver als Chitin. Das machen wir uns zunutze. Wir bringen es gleichzeitig mit wasserabweisenden Pflanzenölen auf das Textil aus. Unter Hitze und Druck verbinden sich die Substanzen zu einer gleichmäßigen, robusten Schutzschicht«, erklärt Dr.-Ing. Thomas Hahn, stellvertretender Leiter der Arbeitsgruppe Bioprozessentwicklung am Fraunhofer IGB. Und sein Kollege Dr. Achim Weber ergänzt: »Der Clou ist, dass sich unsere naturstoffbasierte Imprägnierung nach der Reinigung in der Waschmaschi-

»Chitosan ist wesentlich reaktiver als Chitin. Das machen wir uns zunutze.«

Dr.-Ing. Thomas Hahn, Fraunhofer IGB

ne einfach wieder aktivieren lässt, indem man das Textil bügelt oder in den Trockner gibt.« Ein weiterer Pluspunkt: Die Formulierung lässt sich mit den bereits in der Textilindustrie verwendeten Maschinen und Produktionstechnologien problemlos aufbringen. »Auch Lebensmittelverpackungen oder beschichtete Kartonagen, die beispielsweise Waschpulver vor Nässe und Verklumpen schützen, sind mit Chitosan gut machbar«, so Weber. Auf PFAS könne hier getrost verzichtet werden.

Unverzichtbar sind die Ewigkeitschemikalien hingegen bisher für die Energiewende. Egal ob in Elektrolyseuren zur Gewinnung von Wasserstoff, in Brennstoffzellen oder in Batterien – überall stecken Membranen aus PFAS. Sie müssen unter anderem über eine hohe chemische Stabilität, spezielle Leit- und Durch- ▶



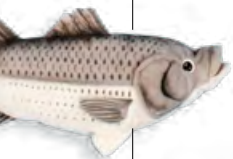


Dr. Bernd Göckener vom Fraunhofer IME ist PFAS in deutschen Gewässern auf der Spur.





lässigkeiten verfügen. »Die Materialanforderungen sind extrem«, weiß Dr. Taybet Bilkay-Troni, Leiterin der Abteilung Polymere und Elektronik am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP. Trotzdem hat sie sich zusammen mit ihrem Team auf die Suche nach Alternativen gemacht – mit Erfolg. Zusammen mit dem Zentrum für Brennstoffzellentechnik ZBT ist es ihnen gelungen, ein neuartiges Polymer zu entwickeln und daraus Membranen für Anionenaustauschermembran-Wasserelektrolyseure (AEM-WE) zu fertigen.



»Die Membran ist das Herzstück jedes Elektrolyseurs.«

Dr. Taybet Bilkay-Troni, Fraunhofer IAP

Bilkay-Troni erklärt: »Die Membran ist das Herzstück jedes Elektrolyseurs. Sie ist entscheidend für die Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad der Elektrolyse, also der Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff durch den Einsatz von elektrischem Strom.« Für die Elektrolyse werden außer der Membran zwei Elektroden (Anode und Kathode) benötigt, eine Gleichstromquelle und eine elektrisch leitfähige Flüssigkeit, das Elektrolyt. An der Kathode sammelt sich der positiv geladene Wasserstoff, an der Anode der negativ geladene Sauerstoff. Die Membran sorgt für den Transport der negativ geladenen Ionen, der sogenannten Anionen, und trennt den Anoden- und Kathodenraum. Als Elektrolyt dient eine schwache Lauge, die Elektrolyse erfolgt bei Temperaturen von etwa 60 bis 80 Grad – Betriebsbedingungen, denen die Membran dauerhaft ausgesetzt ist. Trotzdem darf sie nicht spröde werden, muss flexibel bleiben und ihre ionische Leitfähigkeit behalten.

Die ersten Ergebnisse in der Elektrolyse-Testzelle sind vielversprechend, die PFAS-freie Membran bleibt stabil. Auch





Mit Chitosan aus Krabbenschalen wollen Dr. Achim Weber (l.) und Dr.-Ing. Thomas Hahn Outdoor-Textilien wasserfest machen und so PFAS-Beschichtungen ersetzen.



lässt sich das neue Polymer, aus dem die Membran gefertigt ist, sehr gut verarbeiten. Ein weiterer Vorteil: Auf den Einsatz kostspieliger Elektroden aus seltenen Edelmetallen, wie sie bei den derzeit gebräuchlichen Protonenaustauschermembranen notwendig sind, kann verzichtet werden. In Zukunft könnte die Membran auch in Brennstoffzellen zur Anwendung kommen.

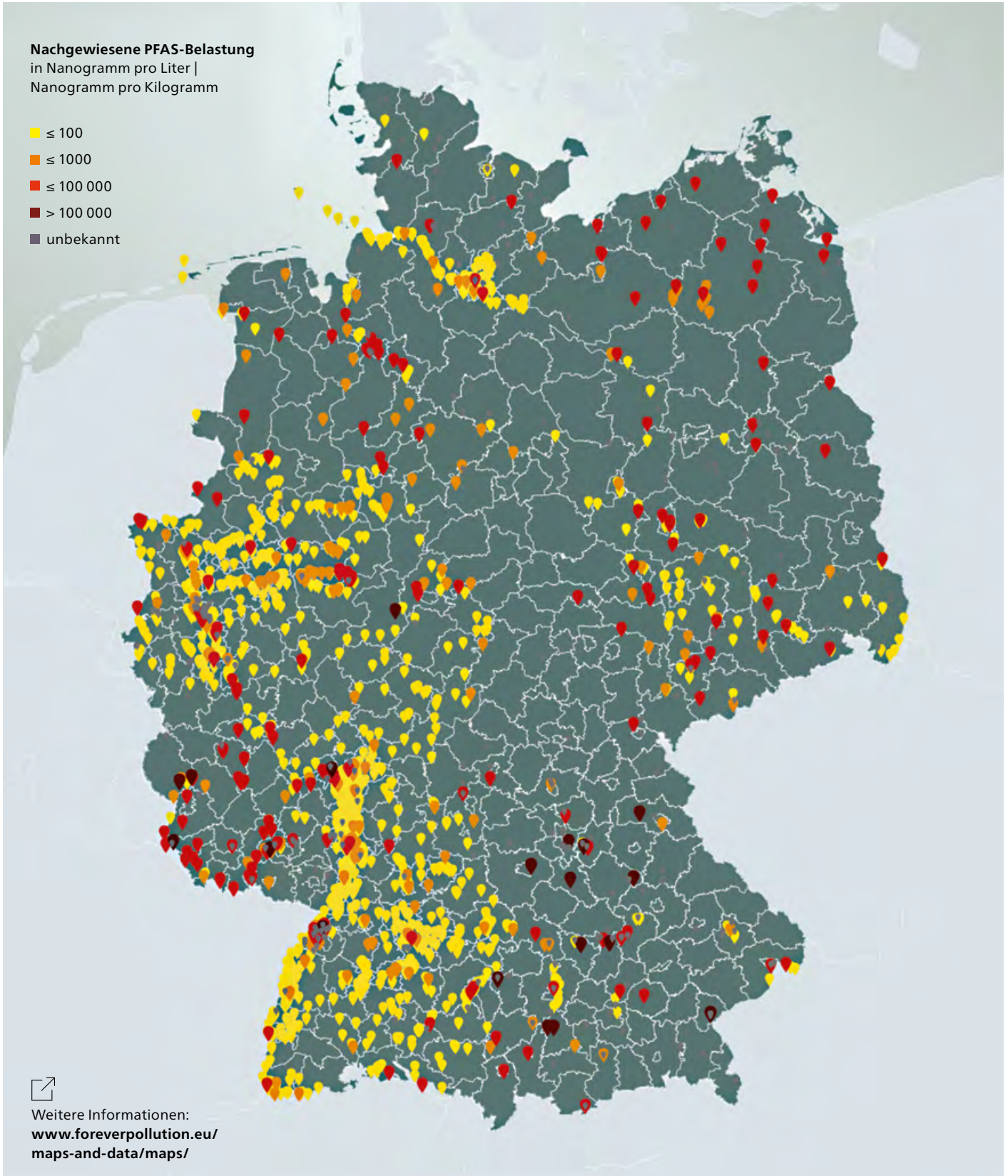
»Bis dahin sind jedoch noch einige Entwicklungsschritte nötig«, räumt Bilkay-Troni ein. »Wir sind gerade erst am Anfang unserer Forschung. Als Nächstes wollen wir die Membran gemeinsam mit unserem Partner, der ZBT GmbH, in einer realen Umgebung über einen längeren Zeitraum testen, um die Stabilität und Leitfähigkeit weiter verbessern zu können.« In drei bis fünf Jahren, glaubt sie, könne die Membran marktreif sein. »Die Nachfrage ist groß. Die Unternehmen wollen allerdings immer am liebsten ein fertiges Produkt. Das können wir nicht bieten. Nur gemeinsam mit der Industrie können wir gute Lösungen entwickeln, die ihren Bedürfnissen auch gerecht werden.«

## # entfernen

Solange wir PFAS nicht vollständig ersetzen können, ist es umso wichtiger, sie so gut wie möglich abzufangen und zu verhindern, dass sie sich weiter in der Umwelt verteilen. Zu diesem Zweck hat Dr. Stefano Bruzzano vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT zusammen mit der Cornelsen Umwelttechnologie GmbH bereits vor einigen Jahren eine Reinigungstechnologie entwickelt und seither kontinuierlich modifiziert. Sie ist besonders effizient bei lokal begrenzten, hohen Emissionswerten, wie sie beispielsweise bei Löscheinsätzen mit Spezialschäumen entstehen, aber auch auf Deponien, in denen PFAS-haltige Konsumgüter langsam »ausbluten« und die Chemikalien ins Grundwasser sickern.

Die PerfluorAd®-Reinigungsanlage kann in einem mobilen Container direkt vor Ort zum Einsatz kommen und ►







belastetes Wasser säubern. Dafür wird es in das Anlagebecken gepumpt und mit PerfluorAd® versetzt, einem eigens entwickelten, biologisch abbaubaren Flüssigwirkstoff, an den die PFAS binden und zu Boden sinken. Das restliche Wasser wird durch Aktivkohlefilter geleitet, in denen die wenigen PFAS zurückgehalten werden, die im ersten Reinigungsschritt nicht erfasst wurden. Der stark kontaminierte Bodensatz wird später in einer Verbrennungsanlage bei Temperaturen deutlich über 1000 Grad Celsius fachgerecht entsorgt. Bruzzano: »Die Stärke unseres Verfahrens liegt in der Kombination der verschiedenen Methoden.« Die Aktivkohlefilter, die in vielen Wasseraufbereitungsanlagen schon vorhanden seien, reichten für eine leistungsstarke und ökologisch sinnvolle Reinigung nicht aus. Bei höheren Kontaminationen von mehr als zehn Mikrogramm PFAS pro Liter setzten sie sich schnell zu. »Wichtig ist im Vorfeld eine Analyse des belasteten Wassers, um unser Verfahren auf die enthaltenen PFAS-Substanzen, Begleitstoffe im Wasser und die Höhe der Kontamination abzustimmen«, betont Bruzzano. Danach richte sich unter anderem, wie viel PerfluorAd® hinzugefügt werden muss, und ob gegebenenfalls weitere Prozesshilfsmittel wie Flockungsmittel zum Abtrennen der PFAS notwendig sind.

**Einen Schritt weiter** geht Dr.-Ing. Georg Umlauf vom Fraunhofer IGB. Er will PFAS aus dem Wasser nicht nur entfernen, sondern ihre Strukturen zerstören und so unschädlich machen. Dafür verwendet er Plasmatechnologie wie sein Kollege Dr. Jakob Barz. Umlauf erklärt: »Wir zünden zwischen zwei Elektroden ein Luftplasma, dazwischen fließt das belastete Wasser an einer Säule nach unten. Da das Plasma ein sehr energiereiches Medium ist, können wir die PFAS-Molekülketten aufbrechen und so die Kohlenstoffketten immer weiter verkürzen. Dafür muss das Wasser allerdings mehrmals im Kreis gepumpt werden, weil ein einmaliger kurzer Kontakt mit dem Plasma nicht ausreicht. Endziel ist die Mineralisierung der PFAS – damit haben sie sich quasi aufgelöst. Eine



Fische können aufatmen:  
Dr.-Ing. Georg Umlauf vom  
Fraunhofer IGB entfernt  
PFAS aus Abwasser.

energieintensive Verbrennung ist dann überflüssig.«

Im Laborreaktor testete Umlauf die Plasma-Reinigungsmethode erfolgreich mit realen Proben aus PFAS-verunreinigten Abwässern. In Zukunft will er das Verfahren an größere Volumina anpassen. Eine verbesserte Analytik soll eine genauere Überwachung des Prozesses ermöglichen und helfen, die Anzahl der notwendigen Pump-Kreisläufe individuell anzupassen. »Allerdings gibt es noch einige Herausforderungen zu überwinden bis zur fertigen Anlage, die mehrere Zehntausend Kubikmeter Wasser pro Jahr säubern kann. Für die weitere Forschung sind wir auf der Suche nach Partnern aus der Abfallverwertung und der Industrie.« Damit wäre selbst für die Ewigkeitschemikalien eine Endlichkeit erreicht.

Die Zeit drängt. Bereits im Jahr 2025 will die Europäische Kommission über das

PFAS-Verbot entscheiden. Ohne Übergangsfristen und Ausnahmereglungen wird es nicht gehen. Zu wichtig sind die Substanzen für eine schnelle Energie- und Verkehrswende, für die moderne Medizintechnik, für die Halbleiterindustrie. Die Dringlichkeit der Fraunhofer-Forschung unterstreicht deshalb Allianz-Sprecher Löbbecke: »Wir können die PFAS-Emissionen begrenzen. Auf PFAS komplett verzichten können wir zurzeit noch nicht.« ■



**Fraunhofer-Allianz Chemie**  
chemie@fraunhofer.de  
www.chemie.fraunhofer.de

**Für Interessierte  
aus der Wirtschaft**

Mehr zu Fraunhofer Match  
auf Seite 79







# KI made in Germany: Mehr Mut!

Die amerikanischen Tech-Giganten liefern sich einen erbitterten Wettstreit um die Vorherrschaft bei generativer KI. Amazon investierte zuletzt vier Milliarden Dollar, Microsoft zehn Milliarden. Und Deutschland?

Von Dr. Sonja Endres

Mit der Veröffentlichung des Sprachmodells GPT-3 im Sommer 2020, auf dem auch ChatGPT beruht, begann in Sachen KI eine neue Zeitrechnung.

**D**as Tempo der technologischen Entwicklung von generativer KI ist atemberaubend. Microsoft integriert bereits erste KI-Funktionen in seine wichtigsten Büro-Programme, auch Google stattet zunehmend Produkte und Dienste damit aus. »Zögerlichkeit können wir uns in Deutschland nicht länger leisten«, meint Dr. Nicolas Flores-Herr, der am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS das

Projekt OpenGPT-X leitet. Hier arbeiten er und sein Team zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS sowie zehn Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Medien an einer europäischen Alternative zu ChatGPT, Google PaLM oder Meta Llama. Sie sind überzeugt: Ein europäisches KI-Sprachmodell ist zwingend notwendig, um in Zukunft digital und marktwirtschaftlich unabhängig zu bleiben. Flores-Herr: »Wir haben in Deutschland Spitzenleute, die

extrem erfolgreich im Bereich generativer KI arbeiten. Und es wäre ausreichend öffentliches und privates Geld da. Das Einzige, was wir bisher zu wenig haben, ist Mut! Ich begrüße daher den aktuellen BMBF-Aktionsplan Künstliche Intelligenz oder die Investitionen deutscher Konzerne in Aleph Alpha. Das sollte jedoch nur der Anfang sein. Ich werbe für mehr Entschlossenheit, damit noch weitere europäische Initiativen und Start-ups entstehen können.«



Das OpenGPT-X-Team trainiert sein KI-Modell mit 24 europäischen Sprachen, wobei Deutsch, Spanisch und Englisch mit jeweils rund 20 Prozent den größten Anteil haben. Bei aktuellen amerikanischen Modellen sind die Trainingsdaten nur zu einem geringen Prozentteil deutsch, die Antworten im Englischen daher sehr viel besser. Sprache prägt das KI-Modell entscheidend, weil sie die Kultur mit all ihren Eigenarten, Normen und Werten repräsentiert. Das ist jedoch nicht der einzige Grund, warum es ein großes europäisches Sprachmodell braucht. Viele Firmen haben erhebliche Vorbehalte, ihre Daten mit amerikanischen Tech-Giganten zu teilen, um deren KI-Angebot dauerhaft nutzen zu können. Amazon, Microsoft, Google und Co bieten zudem Modelle und Standard-Lösungen an, die für ein Massenpublikum tauglich sind, den individuellen Erfordernissen von europäischen kleinen oder mittelständischen Unternehmen jedoch kaum gerecht werden. Flores-Herr: »Unser Modell ist komplett offen. Das heißt, jede Firma, die möchte, wird es einsetzen können. Durch seine Offenheit kann es an spezielle Anforderungen flexibel und rasch angepasst werden. Das könnte OpenGPT-X extrem erfolgreich machen.«

### Hochleistungsrechenzentren sind bisher rar

Vorausgesetzt, es geht jetzt schnell und die Bedingungen für die Entwicklung großer Modelle in Europa werden umgehend geschaffen. Bisher hapert es vor allem an einer wettbewerbsfähigen KI-Recheninfrastruktur. Das OpenGPT-X-Team nutzt unter anderem die Ressourcen am Jülich Supercomputing Centre (JSC) und am Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH) der TU Dresden – ein Privileg. Hochleistungsrechenzentren sind in Deutschland rar, die Kapazitäten begehrt.

Das soll sich bald ändern, wenn es nach den Autorinnen und Autoren der LEAM-Machbarkeitsstudie geht. Sie haben untersucht, welche Voraussetzungen in Deutschland geschaffen werden müssen, um bei

der Entwicklung von großen KI-Modellen konkurrenzfähig zu bleiben. Erstellt wurde die Studie vom KI Bundesverband unter Mitarbeit des Fraunhofer IAIS, weiterer Forschungsinstitutionen, Wirtschaftsverbände und Unternehmen, gefördert wurde sie vom Bundeswirtschaftsministerium. Eine zentrale Forderung der LEAM-Initiative: mithilfe von Expertinnen und Experten in Deutschland ein KI-Supercomputingzentrum aufzubauen und dauerhaft zu betreiben. Große KI-Modelle sollen hier kontinuierlich weiterentwickelt und open

»Zögerlichkeit können wir uns in Deutschland nicht länger leisten.«

Dr. Nicolas Flores-Herr,  
Fraunhofer IAIS



source zur Verfügung gestellt werden. Veranschlagte Kosten: rund 350 bis 400 Millionen Euro – gut investiertes Geld, glaubt auch Jörg Bienert, Präsident des KI Bundesverbandes. Und er sagt: »Nur wer die Technologie beherrscht, wird in der Lage sein, deren Nutzung nach eigenem Ermessen zu gestalten.«

Obwohl die Einsatzmöglichkeiten von KI-Sprachmodellen vielseitig sind, Kosten gesenkt, Produktivität und Effizienz erheblich gesteigert werden können, sind viele deutsche Firmen bislang zurückhaltend. Drei von fünf Unternehmen haben sich mit der Technologie noch nicht beschäftigt oder können sich eine Nutzung nicht vorstellen, ergab vor Kurzem eine

Umfrage des IT-Branchenverbandes Bitkom. Flores-Herr hält das für riskant: »Wenn man sich jetzt nicht über Einsatzmöglichkeiten im eigenen Unternehmen informiert, kann es sein, dass man in 18 Monaten, nicht in drei oder in fünf Jahren, von den Entwicklungen überrollt wird.«

### Mit den Daten sprechen

Die Einführung von generativer KI sei unter anderem im Bereich Wissensmanagement sinnvoll. »Überall dort, wo es große, unstrukturierte Mengen an Informationen gibt, ist generative KI unschlagbar, weil sie quasi mit den Daten sprechen und so gezielt und schnell relevante Inhalte extrahieren kann«, erklärt Flores-Herr. Anstatt per Suchmaschine und Schlüsselwörtern umständlich beispielsweise den Grund für einen Maschinendefekt zu ermitteln, könnten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Zukunft einfach die KI in natürlicher Sprache um Rat fragen – und bekämen dann auf Grundlage aller Informationen, die über ebenjene Maschine zur Verfügung stehen, eine Antwort, wie der Defekt zu beheben ist. Die generative KI werde, so Flores-Herr, sozusagen zu einer zusätzlichen Kollegin, die sich sehr schnell in neue Sachverhalte einarbeiten kann. Dafür reiche es nicht, ein großes KI-Modell einfach auf den Server der Firma zu spielen. Die Herausforderung sei, es an die speziellen Anforderungen des Unternehmens anzupassen und darauf aufbauend zum Teil anspruchsvolle Anwendungen zu entwickeln. Nur so lasse sich das Potenzial von generativer KI voll ausschöpfen.

Bereits Ende dieses Jahres will das OpenGPT-X-Konsortium ein erstes, kleineres KI-Sprachmodell herausbringen. Es besteht aus etwa sieben Milliarden Parametern – anpassbare Werte in einem Modell, die dessen Verhalten steuern und durch Training optimiert werden. Nächstes Jahr sollen wesentlich größere Modelle folgen. Flores-Herr: »Es lohnt sich, in KI made in Germany zu investieren. Abwarten ist das Gegenteil von Gestalten. Jetzt müssen wir handeln!« ■





# Das XXL-Müllproblem

Immer mehr Strom soll aus Windenergie kommen. Dafür werden neue, effektivere Windräder gebaut – doch was passiert mit den alten Rotoren?

Von Kathrin Schwarze-Reiter

**A**us der Ferne sehen sie aus wie Windrädchen, die ein Kind hier und da in die Erde gesteckt hat. Ihre Rotorblätter drehen sich unermüdlich – angetrieben vom Wind, der mal gleichmäßig sanft, mal böig-stürmisch bläst. Erst wenn man näherkommt, erkennt man ihre Riesenhaftigkeit: 75 Meter kann allein ein einziger Rotorflügel lang sein. Zum Vergleich: Die Spannweite eines Airbus A380 beträgt 70 Meter – mit beiden Flügeln. Die Windkraftanlagen sind die größten rotierenden Maschinen, die die Menschheit je gebaut hat.

Seit im Jahr 1991 der erste Offshore-Windpark im Meer vor Dänemark eröffnet wurde, hat sich viel in Sachen Windenergie getan. Mittlerweile drehen sich knapp 30 000 Anlagen auf dem deutschen Festland, auf dem Meer sind es 1500. Trotzdem genügt das nicht, um die Ziele des Erneuerbare-Energien-Gesetzes zu erreichen: Um die Erd-

erwärmung durch fossile Brennstoffe zu bremsen, sollen bis zum Jahr 2030 mindestens 115 Gigawatt aus Windenergie kommen. Bis Ende 2035 sollen es dann 157 und noch einmal fünf Jahre später 160 Gigawatt sein.

Kaum eine technische Anlage wird so dauerhaft genutzt wie ein Windrad. Ständig sind die Rotoren in Bewegung, immer sind sie Wind und Wetter ausgesetzt. Auf dem Meer greift das Salz in der Luft die Materialien an. »Windenergieanlagen sind in der Regel für eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Anlagen dann auch stillgelegt werden müssen«, sagt Dr.-Ing. Steffen Czichon. Und der Abteilungsleiter Rotorblätter am Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES fügt hinzu: »An vielen Standorten ist die Beanspruchung über die Lebensdauer geringer, als bei der Berechnung angenommen wird. Kennt man die genaue Belastungsgeschichte, kann die Restlebensdauer





75 Meter kann allein ein einziger Rotorflügel lang sein.

vorhergesagt werden und alte Anlagen sind länger betreibbar.« So würde der Ressourcenverbrauch verringert, es entsteht weniger Müll. Nach der Herstellung und Errichtung sind die Windräder nahezu klimaneutral.

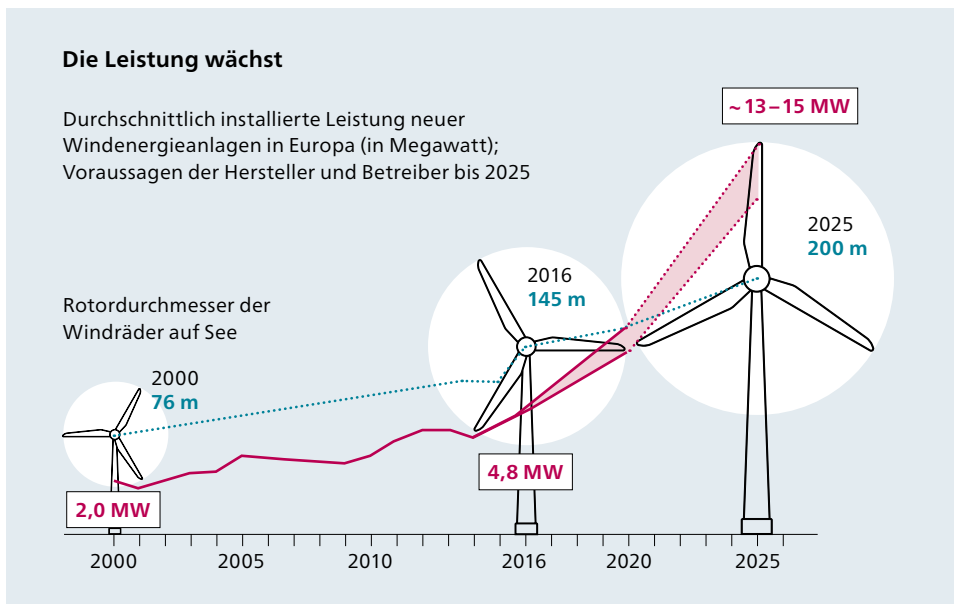
### Windräder durch KI am Leben halten

Wie die Lebensdauer von Windenergieanlagen verlängert werden kann, untersuchen gleich zwei Projekte: Im Projekt KIWI will ein Konsortium aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität des Saarlandes, der Universität Bremen, des Fraunhofer IWES in Bremerhaven und externen Industriepartnern mit einer KI-gestützten Simulation herausfinden, wie die ganze Anlage (Turm, Gondel, Triebstrang und Rotor) länger halten kann. Im Projekt Bladaption interessieren sich die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IWES

ausschließlich für die Rotorblätter. »Es geht konkret um die messtechnische Erfassung der Rotorblätter, um die Verformung genauer zu bestimmen«, sagt Czichon. »Das ist wichtig, um die Lebensdauer präzise abzuschätzen.«

Computersimulationen der Ermüdungslasten sind rechen- und zeitintensiv, bleiben aber dennoch ungenau. Das Fraunhofer IWES hat deshalb mit seinen Partnern die Simulationsverfahren verbessert. Künstliche Intelligenz hilft nun dabei, die Berechnungen schneller und präziser zu machen. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT prognostiziert, dass zu den 15 000 Rotorblättern, die im Jahr 2024 entsorgt werden müssen, in den nächsten drei Jahren noch einmal 72 000 hinzukommen. »Auf einem Schrottplatz bei Flensburg warten Tausende Rotorblätter auf ihre Weiterverwertung, auf ihr Second Life«, sagt Peter Meinschmidt vom Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm- ►





Der historische Verlauf macht das Rennen um die größte Windenergieanlage deutlich.

Klauditz-Institut, WKI. »Während es für den Stahl und Beton, die im Rumpf und Fundament verbaut sind, bereits erprobte Recycling-Verfahren gibt, tut man sich mit den Rotorblättern noch schwer.«

Die großen Flügel der Windräder bestehen meist aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, aus Balsaholz, das mit Epoxid- und Polyesterharz verklebt wird, und aus Kunststoffschaum. Stahl wäre zu schwer und zu wenig biegsam. So kommen bei einem 40 Meter langen Rotorblatt 24 Tonnen Kunststoff, 1,3 Tonnen Balsaholz und 0,5 Tonnen Metall zusammen. Balsaholz ist ein qualitativ hochwertiges Holz – sehr leicht und schnell nachwachsend. Bereits nach sechs Jahren sind die Bäume bereit zum Fällen. »Sie werden in speziellen Plantagen angebaut, eine nachhaltige Produktionsweise – viel zu schade zum Wegschmeißen«, sagt Meinschmidt. Derzeit werden die Rotorblätter aber meist unter hohem Energieaufwand in der Müllverbrennungsanlage oder im Zementwerk verbrannt.

### Zweites Leben für das Rotorblatt

Bisher gab es keine Möglichkeit, das Holz aus einem ausgedienten Rotorblatt zurückzugewinnen. Forschende des Fraunhofer WKI haben das nun zusammen mit der Technischen Hochschule Nürnberg (TH Nürnberg) und Partnerunternehmen geschafft: »Ein großes Problem war das Lösen der festverbundenen Materialien. Mit einer Wasserstrahlkanne, die auf ein Fahrzeug geschnallt ist, und einem mobilen Schredder konnten wir das Rotorblatt leicht zerteilen und fein mahlen«, berichtet Projektleiter Meinschmidt. Das Projektteam verarbeitet das geschredderte Balsaholz zu einem druckfesten Holzschaum ohne synthetische Bindemittel, mit dem man Gebäude dämmen kann. »Im großen Stil ist das noch nicht möglich,

wir hoffen aber bald eine Firma zu finden, die sich darauf spezialisiert.« Vom Recycling direkt in die Wärmedämmung ist das Ziel.

Im Forschungsverbund Windenergie (FVWE), bestehend aus den Partnern DLR, ForWind – Zentrum für Windenergieforschung und Fraunhofer IWES, arbeiten 600 Forscherinnen und Forscher an der Weiterentwicklung der riesenhaften Windräder. Sie wollen die Effizienz erhöhen, die Entwicklung moderner Anlagen verkürzen, die Fertigung optimieren und die Ausfälle reduzieren. Im Projekt HANNAH prüft ein Forschungsteam am Fraunhofer IWES neuartige Werkstoffe für Rotorblätter – hybride Werkstoffe und nanomodifizierte Materialsysteme. Computermodelle simulieren dann die Belastbarkeit der Komponenten und mögliche Schäden.

Die modernen Windkraftanlagen haben nur mehr wenig mit denen im Windpark von 1991 vor Dänemark zu tun. Sie sind größer, erzeugen mehr Strom – denn je höher die Windenergieanlage ist und je länger die Rotorblätter sind, desto besser kann die Anlage das Windenergieangebot ausnutzen. »Der Schritt von Onshore- zu Nearshore-Windenergieanlagen war nur ein kleiner im Verhältnis zu Offshore-Windparks«, urteilt Peter Meinschmidt. »Die Verankerung im Boden, die Höhe der Türme und auch die deutlich höheren Windlasten, die auf den längeren Rotorblättern lasten, sind eine Herausforderung. Insofern ist es beeindruckend, dass die Anlagen dennoch so lange den deutlich harscheren Bedingungen auf See standhalten.« Aber ähnlich schwierig wie der Aufbau der Anlagen werde auch ihr Rückbau und der Rücktransport sein. Meinschmidt: »Die längere Nutzung und Reparaturmöglichkeit, an der wir forschen, kommen auch der Rentabilität der Offshore-Windenergieanlagen entgegen. Ein Repowering wird dadurch so lange wie möglich hinausgezögert.« ■



# Beton mit einem Herz aus Flachs

Ausgerechnet zarte Flachsfasern könnten Betonbauten künftig verstärken – und dabei die Klimabilanz des Baustoffs verbessern.

Von Dr.-Ing. Katja Engel

**E**in Meer aus zart-hellblauen Blüten und zierlichen Pflanzenstängeln, die sich im Wind hin und her wiegen: So sieht ein Feld mit blühendem Flachs in der sommerlichen Normandie aus. Über Jahrtausende haben die Menschen daraus Kleidung gewebt, bis die Baumwolle den Flachs vom Textilmarkt verdrängte. Und das, obwohl die Flachsfaser wesentlich reißfester ist.

Die alte Kulturpflanze könnte nun ein Comeback erleben – und das nicht als Hemd oder Stofftasche, sondern als Textilstruktur im Inneren von Beton. Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) haben Jana Winkelmann und Christina Haxter, Forschende des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, gemeinsam mit der Hochschule Biberach und dem Industriepartner FABRINO Flachsfasern als nachhaltige Alternative für den Einsatz in Hochleistungsbeton untersucht. »Wir wollten zeigen, dass auch Naturfasern geeignete Materialien sein können, um Beton zu verstärken«, erklärt Projektleiterin Winkelmann.

Massive Brücken, meterdicke Mauern, grobe Gebäude: Damit Bauten aus Beton stark genug sind, muss die Mischung aus Sand und Zement im Inneren verstärkt – im Fachjargon: bewehrt – werden. Verwendet wird dafür bislang meist Stahl. Doch der muss aufwendig vor Korrosion geschützt werden, damit das Bauwerk nicht im Inneren verrostet. Eine langlebige Alternative stellt die Verwendung eines textilen Gewebes aus Carbon- oder Glasfasern als Stütze dar. Deren synthetische Herstellung ist jedoch extrem energieaufwendig und basiert zudem auf fossilen Rohstoffen.

All das verschlechtert die bereits bedrückend hohe CO<sub>2</sub>-Bilanz von Beton noch einmal: Die weltweite Produktion von Beton ist für rund acht Prozent des globalen Kohlendioxid-Ausstoßes verantwortlich.

Einer der Hauptgründe für Jana Winkelmann, Flachs als eine Möglichkeit der Naturfaserbewehrung von Textilbetonteilen zu erforschen, ist dementsprechend die Verbesserung der Klimabilanz in der Baubranche. Ein Textil aus hochfestem Flachs könnte Bauwerke mit geringeren Betondicken möglich machen und auf diese Weise beträchtliche Mengen des klimaschädlichen Baustoffs einsparen.

»Beton mit einem Textil aus Naturfasern ist eine gute Alternative zu Stahlbeton.«

Jana Winkelmann, Fraunhofer WKI

Wie eine dafür optimale Textilstruktur aussehen muss, haben die Forschenden vorab digital geplant. Wichtig ist für die Auswahl eines geeigneten Gewebes, auf welche Art die Garne miteinander verkreuzt sind, damit es sich später so wenig wie möglich verschieben lässt. Haben die Forschenden die Struktur dann am Computer festgelegt, können sie das Textil an der institutseigenen Webmaschine aus Flachsgarn weben. Zur Verbesserung der Zugfestigkeit, Dauerhaftigkeit und Verbundhaftung wurden die Flachsgarne zudem beschichtet – aber nicht, wie sonst üblich, mit einem petrobasierten Epoxid-

Flachs kann beides: hübsch und nützlich.

harz, sondern durch eine zum Teil biobasierte Tränkung.

## Spielraum für neue Architekturen

Das textile Halbzeug wurde anschließend mehrlagig in Beton eingebettet. Wie stabil die Proberohlinge unter Last sind, testeten die Projektpartner an der Hochschule Biberach. Winkelmann: »Die Ergebnisse waren eindeutig: Beton mit einem Textil aus Naturfasern ist eine gute Alternative zu Stahlbeton oder zu Beton mit synthetischen Glas- oder Carbonfasern.« Im Rahmen des Projektes sind bereits Modelle für größere naturfaserverstärkte Betonteile entstanden, etwa eine Fassadenplatte und ein Industriefußboden mit verstärkendem Flachsgewebe.

Pflanzenfasern verbessern aber nicht nur die Umweltbilanz, sie ermöglichen auch leichtere Bauten, optimieren ein späteres Recycling und öffnen neue architektonische Spielräume für schlanke und frei geformte Bauten. Jana Winkelmann hofft nun, dass sich naturfaserbasierte Textilbetonbauteile künftig auf dem Markt durchsetzen – vor allem wegen der deutlich verbesserten Klimabilanz. Die grundsätzliche Eignung des innovativen Baustoffs haben die Forschenden des Fraunhofer WKI bewiesen. Das Potenzial, eine neue Generation von Strukturmaterialien heranwachsen zu lassen, haben die Pflanzen mit den hellblauen Blüten jedenfalls. ■



Smarte Geräte können ein Haus sicherer machen – sofern man sie richtig nutzt.

# »Mangelnde Sicherheit ist kein Kavaliersdelikt«

Internetfähige Geräte gehören inzwischen zur technischen Grundausstattung der meisten Haushalte. Doch wie sicher ist das Smart Home? Eine neue EU-Regelung zwingt Hersteller, das Thema Security jetzt endlich zu priorisieren.

Von Beate Strobel



**D**iebe müssen heutzutage kein Türschloss mehr knacken oder ein Fenster einschlagen. Es reicht aus, beispielsweise ein digitales Thermostat zu hacken und via Router die Alleinherrschaft über andere Geräte im Heimnetz zu erlangen. Wenn dann die Wohnung aus der Ferne hochgeheizt wird, ist man schnell bereit, Lösegeld zu zahlen – um endlich wieder Herr im eigenen Haus zu sein.

Den Heim-IQ erhöhen: Smart Home ist einer der Hightech-Trends der vergangenen Jahre. Nutzten 2018 erst 26 Prozent der Deutschen Smart-Home-Anwendungen in den eigenen vier Wänden, waren es 2022 bereits 43 Prozent (Bitkom Research 2022). Ob Videoüberwachung, Beleuchtung, Saugroboter, Fitnessstracker oder Smart-TV: Die Zahl der internetfähigen Geräte im Haushalt wächst. 74 Prozent der Nutzer wollen damit ihren Alltag komfortabler und auch sicherer gestalten. Doch das Internet der Dinge (IoT) kann umgekehrt zum Sicherheitsrisiko werden.

»Mit jedem IoT-Gerät im Haushalt vergrößert sich die potenzielle Angriffsfläche«, sagt Nikolai Puch, Wissenschaftler und Cyber-Sicherheitsforscher am Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC in Garching. Da die smarten Geräte in der Regel über den heimischen Router auf das World Wide Web zugreifen, kann Kriminellen umgekehrt jedes einzelne Gerät als Einfallstor in das interne Netzwerk dienen.

Gescannt zu werden ist bei Geräten, die mit einem Netzwerk (vor allem dem Internet) verbunden sind, nahezu unvermeidbar. Weisen diese Geräte Sicherheitslücken auf, können sie mittels Schadsoftware übernommen werden. Eine Vielzahl derart gekapertter Geräte kann dann zu einem Netzwerk – einem sogenannten Botnet – verbunden werden. »Scanning kann man sich wie eine Straße vorstellen, bei der die IP-Adressen aller internetfähigen Produkte die Hausnummern sind. Die Bots klopfen vollautomatisch an jede Tür – in der Hoffnung, dass sie offen ist«, erklärt Sebastian Peters, ebenfalls Cyber-Sicherheitsforscher am Fraunhofer AISEC. Ist das Netz der infiltrierten Geräte groß genug, können Kriminelle damit zum Beispiel Webseiten und Server durch Massenfragen gezielt lahmlegen.

**IoT-Geräte sollten deshalb nur dann mit dem Internet verknüpft werden**, wenn es für deren Funktion unabdingbar ist. Ist das der Fall, soll-

ten sie mit maximal eingeschränkter Kommunikation (Stichwort »Kindersicherung«) und nicht selbstständig, sondern nur über den Router ins Internet gelangen, da sie so über die zentrale Firewall besser vor Angriffen von außen geschützt sind. Eine mögliche Sicherheitslücke entsteht jedoch durch die Option der Router-Einstellung UPnP (Universal Plug and Play), die nicht nur die herstellerübergreifende Kommunikation aller Geräte im Heimnetzwerk ermöglicht, sondern auch Anfragen aus dem Internet an einen Rechner im Haus erlaubt. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI rät, diese Funktion zu deaktivieren, damit kein IoT-Gerät unkontrolliert nach außen kommunizieren kann.

Denkbar ist außerdem, dass Kriminelle eine reale Straße abfahren und jedes WLAN auf Schwachstellen abklopfen: Ist es gar nicht, nur mit einem schwachen Passwort oder dem veralteten WEP-Standard geschützt? Wenn ja, ist die Gefahr groß, dass Geräte über Schadsoftware übernommen und beispielsweise sensible Daten wie Zugänge zum Online-Banking ausgelesen und missbraucht werden. Oder dass ganz real Schaden angerichtet wird – etwa durch einen Einbruch, wenn dank infiltrierter Kameras beobachtet werden kann, dass niemand zu Hause ist. Oder aber durch die Manipulation virtueller Assistenten, um online Waren zu bestellen oder gar das intelligente Türschloss zu öffnen.

**»Das Passwort ist wie das Schloss an der Haustür«,** betont Nikolai Puch. Das voreingestellte Passwort von Routern oder internetfähigen Geräten müsse deshalb sofort nach der Installation geändert, aber keinesfalls durch die Telefonnummer, das Geburtsdatum oder andere leicht verfügbare Daten ersetzt werden. Empfehlenswert seien vielmehr mindestens achtstellige Kombinationen aus Groß- und Kleinbuchstaben, Ziffern und Sonderzeichen; Wörter aus dem Duden sollten vermieden werden. Wo es möglich ist, kann das Passwort durch eine 2-Faktor-Authentifizierung abgesichert werden: Damit bekommt die virtuelle Haustür ein zusätzliches Schloss.

Puch empfiehlt auch, das WLAN im Smart Home zu segmentieren – etwa in ein separates Gast-Netzwerk, das Besuchern zur Verfügung steht, ein Netzwerk für IoT-Geräte und ein drittes Netzwerk für Laptop, Smartphone und andere Geräte, auf denen besonders sensible Daten gespeichert sind. In einem realen Haus würde man Gäste ►



»Wir wollen mithilfe von KI noch früher noch mehr Angriffsversuche detektieren.«

Dr. Matthias Meyer,  
Fraunhofer IEM



»Mit jedem IoT-Gerät im Haushalt vergrößert sich die potenzielle Angriffsfläche.«

Nikolai Puch,  
Fraunhofer AISEC

ja auch nur ins Wohnzimmer bitten und ihnen nicht gleich Zugang zu den Schreibtischschubladen gewähren.

Ein großes Risiko entsteht laut den Experten des Fraunhofer AISEC, wenn IoT-Produkte nicht regelmäßig auf den neuesten Sicherheitsstand gebracht werden. Das, so Peters, liege oft nicht am Nutzer selbst, sondern vielmehr an der mangelnden Bereitschaft vieler Hersteller, über die gesetzliche Gewährleistungsfrist von zwei Jahren hinaus Updates anzubieten. Sicherheitstechnisch sind diese Geräte dann am Ende ihrer Lebensdauer angekommen, doch wer entsorgt schon seine Spielkonsole, den vollautomatischen Rasenmäher oder den smarten Fernseher, nur weil keine Updates mehr eintreffen? »Hier hilft es, diese Geräte zumindest nicht mehr frei mit dem Internet kommunizieren zu lassen, sondern sie maximal abgeschottet als Teil des Heimnetzwerkes zu nutzen«, empfiehlt Sebastian Peters. Und: »Bei einer Neuananschaffung sollte die lang garantierte Verfügbarkeit von Sicherheitsupdates ein wichtiges Kaufkriterium sein.«

**Das frühe Ende von Software-Updates sei eine Folge des Preisdrucks** in der Technologie-Branche, glaubt Dr. Matthias Meyer, Leiter der Abteilung Sichere IoT-Systeme am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Viele Hersteller sparen an der Absicherung ihrer Software und an Updates. Nutzern wiederum empfiehlt der Fraunhofer-Experte, schon beim Kauf nach der Update-Versorgung zu fragen und auf der Webseite des Produzenten nach Hinweisen auf neue Software-Versionen zu fahnden: »Nur wenn da regelmäßig etwas passiert, nimmt der Produzent das Thema Security ernst«, erklärt Meyer.

Um den technischen Laien zu entlasten und die digitale Resilienz entlang der gesamten IT-Wertschöpfungskette zu erhöhen, hat die Europäische Kommission 2022 den Cyber Resilience Act (CRA) auf den Weg gebracht; 2024 soll die Verordnung in Kraft treten und mit zwei bis drei Jahren Übergangsfrist für alle IoT-Produkte (Software und Hardware) gelten, die auf dem europäischen Markt angeboten werden. Entsprechend des CRA sind Hersteller dann während des kompletten Produkt-Lebenszyklus für die Cyber Security verantwortlich. Eine Vielzahl von Unternehmen wird die gesetzliche Verankerung von »Security by Design« vor Probleme stellen, prophezeit Matthias

Meyer: »Security-Expertise ist in vielen Branchen noch nicht so breit verfügbar.«

Während Hersteller wie Nutzer ihre Laptops, Tablets und PCs als virtuelles Zuhause etwa für Homebanking oder die Passwortablage und damit als sicherheitskritische Geräte wahrnehmen und entsprechend behandeln, werden andere IoT-Geräte nicht als die Mini-Computer gesehen, die sie sind. Wer vermutet schon das Spielzeug mit Bluetooth-Anschluss im Kinderzimmer, die Zahnbürste mit dazugehöriger App im Badezimmer oder das digitale Thermometer im Wohnzimmeraquarium als Ziel einer Cyber-Attacke? Nutzern ist zudem oft nicht klar, welche Daten tatsächlich übertragen werden; sie wissen nicht, auf welchen Servern sie gespeichert werden und wie diese gesichert sind.

In einer Studie im Auftrag des BSI hat das Fraunhofer AISEC mögliche Hardware-Angriffe auf Mikrocontroller analysiert und entsprechende Gegenmaßnahmen skizziert. Mikrocontroller sind als Ein-Chip-Computer gewissermaßen das Herz eines jeden IoT-Geräts und werden zunehmend in Consumer-Produkten und eWallets eingesetzt. Obwohl sie oft hochsensible Daten wie kryptografische Schlüssel oder Zugangsdaten speichern, verwendet die Industrie aus Kostengründen gerne Standard-Mikrocontroller – eine Einladung für Hacker. Mit der Studie wollen die Forschenden des Fraunhofer AISEC die Hersteller von Mikrocontrollern auf diese Problematik aufmerksam machen und dazu auffordern, geeignete Gegenmaßnahmen zu implementieren.

Das Fraunhofer IEM wiederum unterstützt Unternehmen bereits in der frühen Produktentwicklung – ganz nach der Prämisse »Security by Design« – und analysiert auch bestehende Sicherheitskonzepte für Smart-Home-Geräte. Im Projekt IoT-ScuBA (»IoT-Security durch zyklische, präzise verzahnte Bedrohungsanalyse und Angriffsdetektion«) stehen unter anderem die sichere Entwicklung und der sichere Betrieb eines vernetzten Saugroboters des Projektpartners Miele im Mittelpunkt. Hier setzt das Forschungsteam auch auf KI-Verfahren, um einerseits durch Anomalie-Erkennung im System selbst bislang unbekannte Arten von Angriffen frühzeitig zu registrieren und andererseits diese Erkenntnisse systematisch zurückzuführen in die Weiterentwicklung der Produkte. »Die Angriffserkennung findet aktuell durch die Analyse der Kommunikation im Netzwerk statt«, erklärt Matthias Meyer. »Wir aber wollen



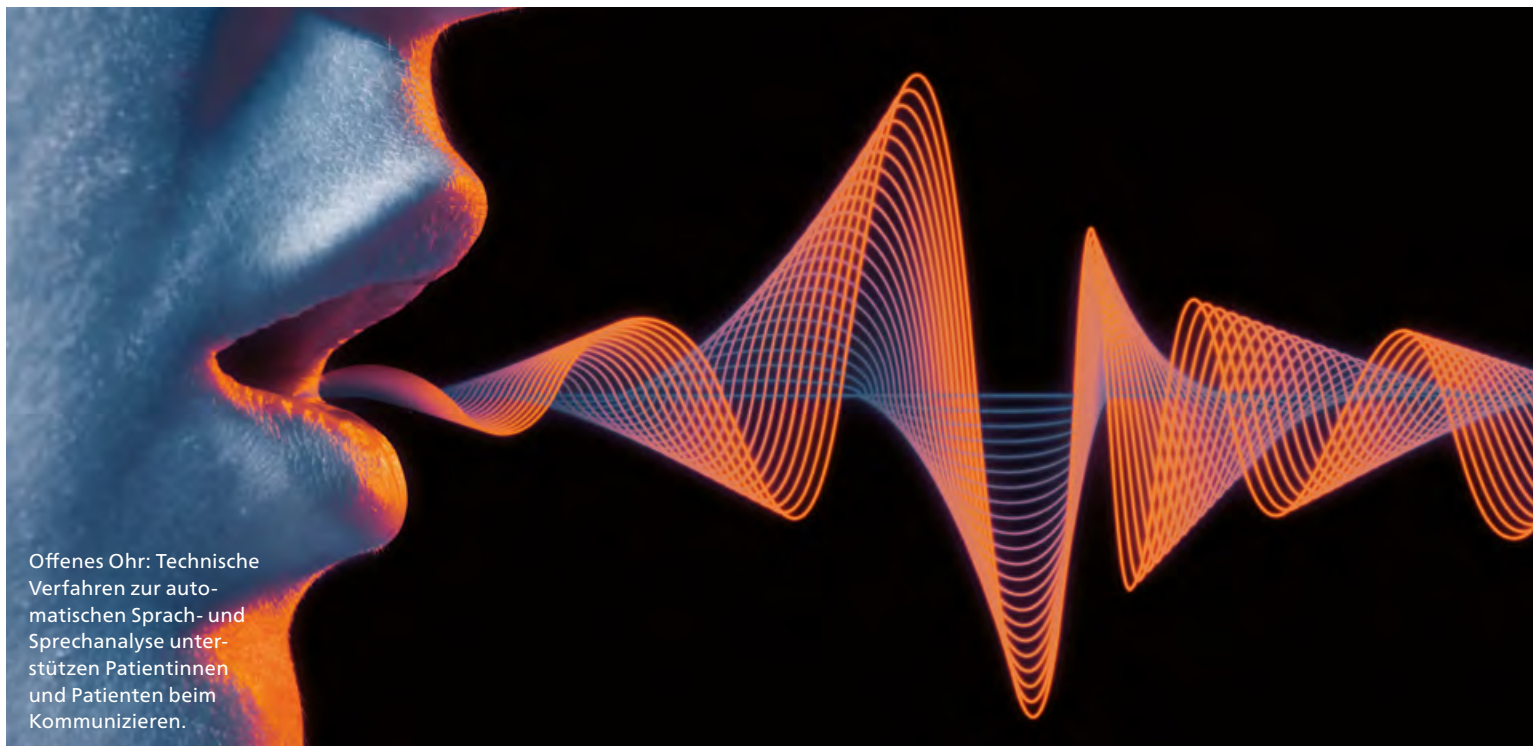


mithilfe von KI bereits auf die auf den Geräten laufende Software schauen, um noch früher noch mehr Angriffsversuche zu detektieren.«

**Ein innovatives Werkzeug für IT-Sicherheitstests** entwickeln die vier Fraunhofer-Institute für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC sowie für Offene Kommunikationssysteme FOKUS und für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE im Projekt IntelliSecTest. Ziel dabei ist, dass dieses Werkzeug verschiedene Prüfverfahren kombiniert und dadurch bereits während der Softwareentwicklung Schwachstellen mit größerer Präzision aufspüren kann als aktuelle Tests – und trotzdem so einfach anzuwenden ist, dass auch Unternehmen ohne ausgewiesene Security-Experten eine erste Einschätzung der Sicherheit ihres Produkts vornehmen können: sowohl ihrer eigenen Software als auch von Open-Source-Software-Paketen anderer Entwickler.

Um Unternehmen aber langfristig zu befähigen, intern Expertise aufzubauen und selbst entsprechende Entwicklungen voranzutreiben, bietet das Fraunhofer IEM als Partner im Lernlabor Cybersicherheit der Fraunhofer Academy das »Security Champion Training« an. »Wir wollen einerseits das nötige Know-how für die sichere Softwareentwicklung vermitteln, zum anderen aber auch die entsprechenden Soft Skills, damit die Security Champions als Multiplikatoren wirken und sich im Unternehmen für Sicherheitsbelange einsetzen können – und das auch gegenüber Führungskräften«, betont Meyer. »Zusätzlich bieten wir speziell für Führungskräfte zugeschnittene Software Security Trainings an. Denn im Zuge der kommenden EU-Regularien ist mangelnde Sicherheit kein Kavaliersdelikt mehr, sondern kann Unternehmen durch hohe Strafzahlungen bis hin zur Marktrücknahme eines Produktes empfindlich treffen. Deshalb gehört das Thema jetzt definitiv auf die Führungsebene.« ■

Alles im Griff: Laut einer Bitkom-Umfrage (2022) steuern 85 Prozent der Nutzer ihre IoT-Geräte via Handy-App.



Offenes Ohr: Technische Verfahren zur automatischen Sprach- und Sprechanalyse unterstützen Patientinnen und Patienten beim Kommunizieren.

# Lass uns reden

Neue Möglichkeiten der digitalen Sprach- und Sprechanalyse unterstützen Menschen, die aufgrund von Krankheiten nur eingeschränkt kommunizieren können. Eines Tages könnten sie sogar die Früherkennung bestimmter Krankheiten erleichtern.

Von Yvonne Weiß

**S**ie macht für uns das Licht an, fährt die Jalousie hoch, stellt die Musik leiser. Im Auto warnt sie vor dem nächsten Stau, weist den richtigen Weg, liest Nachrichten vor und nimmt den nächsten Telefonanruf entgegen. Spracherkennung kann bereits so einiges – und bald noch viel mehr.

Am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg entwickeln Forscherinnen und Forscher technische Verfahren zur automatischen

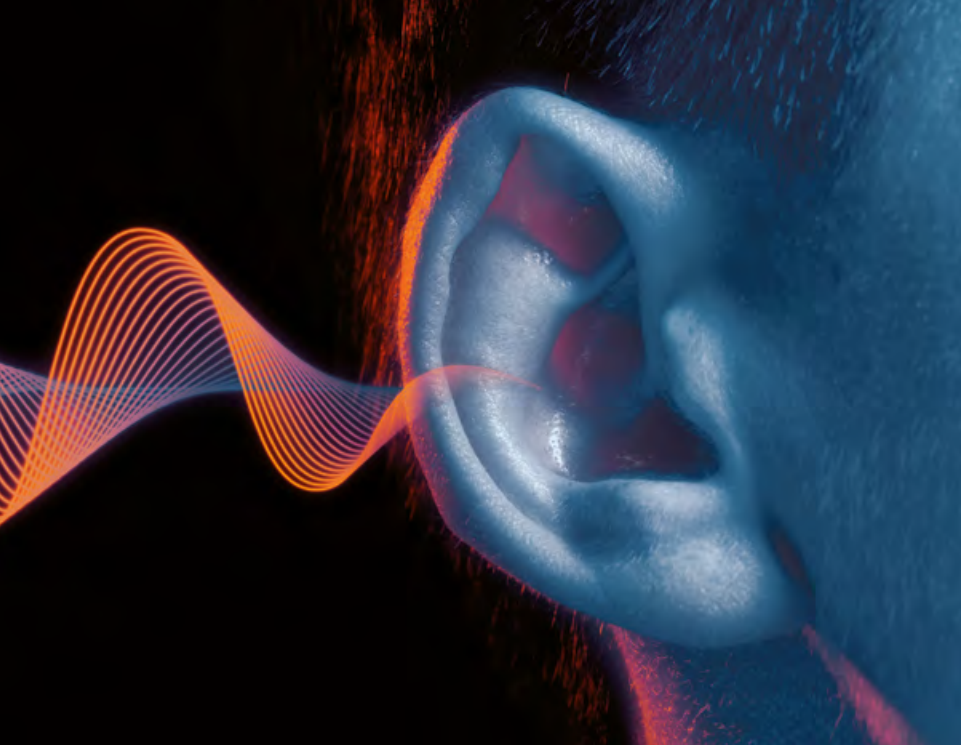
Sprach- und Sprechanalyse, um Menschen zu unterstützen, die sich nur noch eingeschränkt verständigen können – etwa nach einem Schlaganfall oder aufgrund eines Hörschadens.

»Unser oberstes Ziel ist es, die Kommunikationsfähigkeit von Menschen zu fördern«, erklärt Laura Tuschen, Leiterin der Forschungsgruppe Assistive Sprech- und Sprachanalyse am Fraunhofer IDMT. »Sprachverarbeitung und digitale Verfahren bieten mittlerweile großes Potenzial, die Logopädie und Sprachtherapie sind

aber noch sehr technikfern. Das möchten wir ändern – und Fachwissen aus beiden Disziplinen miteinander verbinden.«

Im Gegensatz zu bestehenden Systemen kann die Technologie des Instituts teils Hör-, Sprach- und Audiotechnologie HSA spezifische Störungsmerkmale analysieren und vor dem Hintergrund von Krankheiten bewertbar machen. Beobachtet werden Aspekte wie Sprechfluss, Stimmqualität oder die sogenannte Prosodie, also bestimmte Ausdrucksmerkmale beim Sprechen. Dazu zählen etwa die





Lautstärke der Stimme, das Tempo sowie die Sprechmelodie.

Im Projekt Theresiah etwa haben die Forschenden gemeinsam mit Partnern ein digitales Therapiesystem entwickelt, das Hörgeschädigte durch ein Aussprache- und Hörtraining unterstützt. Betroffenen fehlt häufig die akustische Rückkopplung, sie können ihre eigene Stimme und Sprechweise nicht mehr bewerten. Die integrierte Sprachanalysetechnologie des Fraunhofer IDMT hilft hier weiter: Sie erkennt Aussprachemuster, gibt den Patientinnen und Patienten dazu Rückmeldung und ermöglicht so ein effizientes, individuelles Training.

Das Projekt OSST (Oldenburger Sprech- und Stimmtest), das noch bis Ende 2023 läuft, führt dieses Thema fort: Mit Partnern aus der Wissenschaft entwickeln die Fraunhofer-Forschenden ein Screening, das Stimm- und Sprechstörungen analysiert und so das logopädische Training unterstützen soll. »Welche Laute kann ein Patient mit Hörschädigung nicht mehr richtig artikulieren? Sind die Zischlaute betroffen? Klingt die Stimme monoton,

»Unser oberstes Ziel ist es, die Kommunikationsfähigkeit von Menschen zu fördern.«

Laura Tuschen, Fraunhofer IDMT



Mit einem digitalen Trainingssystem unterstützt Laura Tuschen Patientinnen und Patienten.

ist also auch die Intonation beeinträchtigt? Im Projekt möchten wir einen Demonstrator entwickeln, der uns Antworten auf diese Fragen liefert«, erklärt Tuschen.

Schlaganfallpatientinnen und -patienten, deren Kommunikationsfähigkeit häufig beeinträchtigt ist, dürfen ebenfalls auf die Technologie hoffen: Im Projekt HiSSS (Hybride und interaktive Sprach- und Sprechtherapie nach Schlaganfall) erarbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Therapiesystem, das Betroffenen einen Teil ihrer Kommunikationsfähigkeit zurückbringen soll. Die Menschen sollen so vor einem möglichen sozialen Rückzug bewahrt und ihre Lebensqualität verbessert werden.

### Digitales Training als Ergänzung zur klassischen Therapie

Via App üben die Patientinnen und Patienten gezielt Wort- und Satzproduktion, trainieren den Wortabruf und die Aussprache von Lauten. Anschließend gibt ihnen die App individuelles Feedback.

»Die Digitalisierung, aber auch der Fachkräftemangel fordern neue Technologien, die in therapeutischen Prozessen einsetzbar sind«, ist sich Tuschen sicher. Das digitale Training für zu Hause sei dafür ein wichtiger Schritt – als flexible Ergänzung zur klassischen Therapie vor Ort: »Nach einem Schlaganfall benötigen Betroffene nachweislich eine intensive Sprachtherapie, die logopädische Versorgung ist aber häufig nicht ausreichend. Diese Lücken möchten wir schließen.«

Neben einer besseren Versorgung könnte die Technologie zur automatischen und assistiven Sprach- und Sprechanalyse langfristig sogar bei der Früherkennung von Krankheiten, wie etwa Demenz, helfen: Betroffene haben häufig bereits frühzeitig Schwierigkeiten, die richtigen Wörter zu finden und zu benutzen. Auch Aspekte der Kommunikationsfähigkeit, wie abnehmende Gesprächsanteile und -interaktion, können beeinträchtigt und somit Indikatoren für die Krankheit sein. Diese Anzeichen könnte die Technologie künftig ebenfalls identifizieren. ■



# Mehr Salz im Meer?

Steigende Temperaturen bringen den Salzgehalt im Ozean ins Schwanken. Das beeinflusst nicht nur den Golfstrom, sondern gefährdet auch Schlüsselorganismen wie Plankton und Algen. Was jetzt zu tun ist, haben Fraunhofer-Forschende untersucht.

Von Yvonne Weiß







Unterwegs: Meeresbewohner wie Schildkröten nutzen den Golfstrom als Fortbewegungsmittel.

Foto: Vlad61/istockphoto

**W**enn er schwächer wird, sind die möglichen Folgen bekannt. Die Nordsee? Könnte monatelang vereisen. Grüne Wiesen in Deutschland? Könnten sich in karge Landschaft verwandeln. Meeresbewohner wie Schildkröten oder Flussaale? Könnten sich nicht mehr gen Norden treiben lassen. Dass der Golfstrom im Zuge des Klimawandels voraussichtlich langsamer wird, liegt vor allem am Salzgehalt im Meer. Höhere Temperaturen lassen in den Polargebieten immer mehr Eis schmelzen; das zusätzliche Süßwasser verdünnt das Meerwasser. Es ist nun nicht mehr kalt und salzig, somit nicht schwer genug, um zu sinken. Es verliert seine Kraft, die Strömung wie gewohnt anzutreiben.

»Der Salzanteil im Ozean ist ein entscheidender Faktor in der Klimaforschung«, betont Dr. Till Röhlig, stellvertretender Leiter der Abteilung Biodiversitätsforschung am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME.

Gerade wegen dieser möglichen Auswirkungen findet die sogenannte Salinität in der Klimaforschung laut Röhlig bislang zu wenig Beachtung. Gemeinsam mit Partnerinnen und Partnern aus der Wissenschaft möchte er das ändern. In einer Studie untersuchen Röhlig und sein Team mögliche Konsequenzen. Die Besonderheit: Die Forschenden konzentrieren sich auf die Folgen menschlicher Eingriffe in die Natur. Diese verstärken die Schwankung – allen voran die menschengemachte Erderwärmung.

Mit Computer-Simulationen möchten Röhlig und sein Team folgende Kernfrage beantworten: Wie kommen verschiedene Ökosysteme bis Ende des Jahrhunderts mit

einer veränderten Menge Meersalz zurecht? Das Modell basiert dabei auf zweierlei Daten: Werten zur Salztoleranz verschiedener Organismen sowie Klimavorhersagen aus dem aktuellen Bericht des Weltklimarats.

## 20 Prozent des globalen Planktons könnten bis 2100 verschwinden

Die Berechnungen zeigen: Besonders betroffen sind Lebewesen wie Plankton, Korallenriffe und Algen – Schlüsselorganismen, die nicht nur zahlreichen Lebewesen das Überleben sichern, sondern auch im Kampf gegen den Klimawandel entscheidend sind.

»Plankton produziert beinahe die Hälfte des weltweiten Sauerstoffs«, erklärt

Röhlig. Zudem entziehe es der Atmosphäre etwa genauso viel Kohlenstoffdioxid wie alle Wälder zusammen. »Unsere Studie zeigt: Der veränderte Salzgehalt allein bedroht bis Ende des Jahrhunderts etwa 20 Prozent der weltweiten Planktongemeinschaften – unabhängig von der steigenden Temperatur, die eine ähnlich große Bedeutung hat.«

Zwar handle es sich dabei um keine sichere Prognose, sondern um Daten, die in die Zukunft projiziert werden. Für Röhlig steht trotz-

dem fest: Klimaforschende müssen die Salinität künftig als zentralen Parameter dringend berücksichtigen: »Nur, wenn wir präzise vorhersagen können, was passiert, können wir uns schützen.« ■

»Plankton produziert beinahe die Hälfte des weltweiten Sauerstoffs. Zudem entzieht es der Atmosphäre etwa genauso viel Kohlenstoffdioxid wie alle Wälder zusammen.«

Dr. Till Röhlig,  
Fraunhofer IME



Hier geht's zur Studie:





## Damit es nicht ins Auge geht

Wie stark chemische Substanzen das menschliche Augen reizen, wird in der Regel an Kaninchen getestet. Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC möchte dem ein Ende bereiten – mit einem neuen, vielversprechenden Testsystem.

Von Yvonne Weiß

**D**as Auge ist ein hochkomplexes Organ. Der Mensch sieht damit in einem Winkel von mehr als 200 Grad, das Wildkaninchen kommt fast auf einen Rundumblick mit 360 Grad. Das Auge kann auch ganz einfach sein. Als Gewebe schwimmt es im Reagenzglas, reduziert auf ein Modell, das die Cornea nachbildet, den vorderen Abschnitt der menschlichen Hornhaut. Geschaffen ist es aus menschlichen Zellen, genährt wird es unter anderem mit Aminosäuren, Vitaminen, Proteinen. Doch so einfach dieses Auge im Reagenzglas auch ist: Es hat das Tierwohl im Blick.

Im Alltag kommen wir ständig mit unterschiedlichen Chemikalien in Berührung. Diese Substanzen können allerdings Irritationen hervorrufen: Ein Tropfen Shampoo reicht häufig schon aus für eine kurze, aber schmerzhaft Augenreizung. Um langfristige Schäden bis hin zur Erblindung auszuschließen, testen Forscherinnen und Forscher daher das Irritationspotenzial chemischer Stoffe, bevor die Produkte auf den Markt und in den heimischen Badezimmerschrank kommen. Seit 1944 wird dafür der sogenannte Draize-Test eingesetzt – eine Prozedur,

bei der Kaninchen chemische Substanzen ins Auge geträufelt werden.

An einer erfolgversprechenden Alternative forscht nun Dr. Christian Lotz, Leiter der Gruppe In-vitro-Testsysteme am Fraunhofer-Translationszentrum für Regenerative Therapien des Fraunhofer ISC. Gemeinsam mit seinem Team sowie externen Partnern aus Industrie und Forschung entwickelt er im Projekt ImAi ein Verfahren, welches das Gefahrenpotenzial chemischer Stoffe ermittelt – im Reagenzglas, ganz ohne Kaninchen.

»Wir möchten eine tierfreundliche Alternative zum Draize-Test entwickeln, die zuverlässige Ergebnisse liefert«, erläutert Lotz das Projektziel. In einem Anschlussprojekt soll das neue Testsystem dann zur OECD-Prüfrichtlinie und somit zum neuen Standard-Testverfahren weiterentwickelt werden. Ein für Hersteller innerhalb der EU wichtiges Vorhaben, denn: Seit 2013 sind EU-weit Tierversuche nur noch eingeschränkt erlaubt und für den Test von Inhaltsstoffen in Kosmetika bereits ganz verboten. Der Bedarf an tierversuchsfreien Alternativen steigt also stetig.



Die Zellen im Gewebe, das Lotz und seine Kolleginnen und Kollegen im Reagenzglas züchten und das die Cornea nachbildet, sind von einer Membran umhüllt. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung wirkt diese wie ein elektrischer Isolator. Sobald die Zellen eine oder mehrere geschlossene Schichten bilden, entsteht ein messbarer elektrischer Widerstand.

Um das Irritationspotenzial einschätzen und chemische Substanzen entsprechend klassifizieren zu können, fügt das Projektteam im Test die kritische Chemikalie hinzu. Anschließend misst ein sogenanntes Impedanzspektrometer den elektrischen Widerstand im Modell: »Schädigt die Testsubstanz die Hornhaut, sterben Zellen ab und es entstehen Löcher in der Zellmembran. In der Folge sinkt der Widerstand, der Strom kann wieder frei fließen«, erklärt Lotz das Prinzip. Ist der Widerstand gering, so hat die Substanz das Gewebe folglich stark geschädigt. Fällt der Wert hingegen hoch aus, weist das Gewebe keine Schädigung auf.

Der Widerstand wird also zum Indikator dafür, wie gefährlich die Substanz dem menschlichen Auge werden kann – ohne dabei die Hornhaut im Reagenzglas zu zerstören. »Das hat den großen Vorteil, dass wir das Gewebe nach einigen Tagen erneut untersuchen können. So kön-

nen wir zeigen, ob ein Schaden reversibel ist oder nicht – ein entscheidendes Klassifizierungsmerkmal, das mit bisherigen tierversuchsfreien Tests noch nicht erreicht wurde«, freut sich der Wissenschaftler. Zusätzlicher Pluspunkt: Die Ergebnisse sind durch Testung an menschlichen Zellen reliabler, da sich das tierische Auge von dem

des Menschen auf Zellebene unterscheidet. Die Risikobewertung wird im neuen Test also deutlich zuverlässiger sein.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt befindet sich am Ende der ersten Förderungsperiode. Aktuell führen Lotz und sein Team eine sogenannte Multilaborstudie durch: Damit das Verfahren in etwa zwei bis fünf Jahren Teil der OECD-Richtlinie werden kann, muss nachgewiesen werden, dass es weltweit in Laboren anwendbar ist. Im Anschlussprojekt reichen die Forschenden ihre Technologie an den Expertenrat der OECD wei-

ter. Dort wird entschieden, ob das Verfahren als Richtlinie aufgenommen wird oder ob noch Verbesserungsbedarf besteht.

Lotz hofft auf den europaweiten Erfolg: »Ich fände es genial, den Sprung zu schaffen und eine Technologie, die wir im Labor ausgetüfelt haben, in Form einer OECD-Richtlinie zur Anwendung zu bringen.« ■

»Wir möchten eine tierfreundliche Alternative zum Draize-Test entwickeln, die zuverlässige Ergebnisse liefert.«



Dr. Christian Lotz,  
Fraunhofer ISC

Die Gesundheit im Blick: Ein neues Testverfahren schützt das Auge vor gefährlichen Irritationen.



# Hightech gegen Minen

Allein in der Ukraine soll ein Drittel der Landfläche mit Kampfmitteln verseucht sein. Fraunhofer-Forschende arbeiten an Technologien, Sprengfallen mit weniger Risiko zu entschärfen – manchmal hilft ein Wasserstoß.

Von Mehmet Toprak

Langzeit-Gefahr:  
Landminen können noch  
Jahrzehnte nach dem  
Einsatz töten.





Foto: Smolijenko Dmytro/Ukrinform/ABACA/dpa

**M**it Explosionen kennen sie sich aus, die Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI. Seit vielen Jahren studieren sie, was innerhalb weniger Mikrosekunden passiert: von der Zündung, mit der die chemische Reaktion des Explosivstoffs in Gang gesetzt wird, über die Ausbreitung der Reaktion, die große Mengen an Energie freisetzt, bis hin zur schlagartigen Ausdehnung der heißen Reaktionsprodukte, die zu Stoßwellen in der Luft führt. All das geschieht so schnell, dass das Auge es nicht erfassen kann.

Am Fraunhofer EMI werden für die Simulation von Explosionen Hydrocodes entwickelt, so der APOLLO Blastsimulator für gasdynamische Vorgänge und SOPHIA für das Verhalten fester Stoffe. Sie dienen der Erforschung und Analyse der Hochgeschwindigkeitsvorgänge im Inneren des Explosivstoffs und bei der Ausbreitung und Wirkung der Blastwellen. Im Fall von Minen erlaubt der APOLLO Blastsimulator beispielsweise, das Schadensrisiko einer Detonation für einen bestimmten Umkreis abzuschätzen und die Schäden zu quantifizieren.

### Todesgefahr auch für Zivilisten

Wie groß die Bedrohung durch Minen sein kann, zeigt der Krieg in der Ukraine. Schon im Frühjahr hat Präsident Wolodymyr Selenskyj davon gesprochen, dass knapp ein Drittel der Gesamtfläche seines Landes vermint sei. Nach Presseberichten haben die russischen Streitkräfte einen 1000 Kilometer langen und 16 Kilometer tiefen Streifen Land vermint, um die ukrainische Gegenoffensive zu stoppen. Mindestens sieben Arten von Antipersonenminen haben sie eingesetzt. Auch Zivilisten in der Ukraine sind betroffen. 2022 sind nach Angaben des Landminen-Reports allein in den ersten neun Monaten 277 Zivilisten ums Leben gekommen.

Die Fraunhofer-Expertinnen und -Experten nutzen ihr Wissen nicht nur zur Erforschung und Simulation von Explosionen, sondern auch dazu, Minen zu entschärfen. Dr. Martin Lück, Gruppenleiter Lasertechnologie in der Abteilung Impaktphysik, und sein Team setzen auf Lasertechnik und haben hierfür den Hydrocode SOPHIA weiterentwickelt. Ein Dauerstrichlaser wird auf die Mine oder ein anderes explosives Objekt wie etwa ein IED (Improvised Explosive Device) gerichtet. ►

Lück beschreibt, was dann passiert: »Die Wärme dringt durch die Hülle und erhitzt den Sprengstoff. Dadurch reagiert ein Teil des Sprengstoffs, und die Reaktionsgase erhöhen den Druck in der Hülle. Bohrt der Laser ein Loch in die Hülle oder reißt diese durch den Druck auf, kann der restliche Sprengstoff schließlich kontrolliert abgebrannt werden.« Die zerstörerische Detonation bleibt aus. Das bedeutet nicht, dass die Mine damit völlig unschädlich geworden ist, denn der toxische Sprengstoff brennt in der Regel nicht vollständig ab. Die Reste werden noch als Partikel, Aerosol oder Brocken in der Umwelt verteilt.

Die Technik funktioniert im Idealfall bis zu einer Entfernung von 100 Metern, das reduziert die Gefahr für die Minenräumer. Die Fraunhofer EMI-Forschenden nutzen aber noch einen anderen Weg, um eine Detonation der Minen oder Sprengstofffallen zu verhindern: Sie zerlegen das Kampfmittel mit einem Wasserstoß. »Der Wasserstrahl wird durch Pyrotechnik angetrieben und ist dadurch extrem stark. Trifft er auf die Mine, wird sie durch den kinetischen Impuls in ihre Einzelteile zerlegt«, erklärt Axel Sättler, Abteilungsleiter Experimentelle Ballistik. Die restlichen Brocken können größtenteils eingesammelt und umweltgerecht entsorgt werden. Die Projekte Simulation und Risikoanalyse, Neutralisierung von Kampfmitteln durch Laser und Zerstörung von Kampfmitteln durch Wirkmittel wie etwa Wasser sind im Auftrag der Bundeswehr entstanden und Teil des Projekts Encounter der Europäischen Kommission.

## Radartechnik findet Minen im Boden

Bevor es ans Entschärfen geht, müssen die Minen erst mal gefunden werden. Darum kümmern sich Forschende um Dr. Christian Bräu, Gruppenleiter Ultrabreitbandradar am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg bei Bonn.

Nicht nur das Finden, auch das Identifizieren der Minen stellt eine enorme Herausforderung dar. Denn viele Objekte im Boden sind gar keine Minen, sondern leere Ölskanister, kaputte Einkaufswagen oder auch schlicht eine alte Cola-Dose. Außerdem lässt sich bei IEDs (Improvised Explosive Device) beobachten, dass zusätzlich Schrott ausgelegt wird, um dem Gegner das Aufspüren zu erschweren. Das Fraunhofer FHR-Team zieht daher alle Hightech-Register und setzt auf Ultrabreitbandradar. Radar detektiert auch nicht-me-



»Wir forschen laufend weiter, damit die Bundeswehr die Störfähigkeit ihrer Systeme verbessern und ihre Soldatinnen und Soldaten besser schützen kann.«

Dennis Gläsel,  
Fraunhofer FKIE

tallische Objekte, schließlich sind Landminen oder auch Sprengfallen wie die mit Dünger gefüllten Kanister fast immer aus Kunststoff. Der Ultrabreitbandradar arbeitet in einem Frequenzbereich zwischen 400 Megahertz und 6 Gigahertz. Durch die niedrigen Frequenzen dringen die elektromagnetischen Wellen tief in den Boden ein. Die hohe Bandbreite wiederum verbessert Auflösung und Detailgrad der vermessenen Objekte.

Weitere Fortschritte erzielen Bräu und sein Team durch eine neuartige Kombination aus polarimetrischen und multistatischen Antennen. Bei den multistatischen Antennen-Arrays sendet eine Antenne das Signal aus und bis zu sechs Antennen empfangen die reflektierten Signale aus dem Boden. Die unterschiedlichen Winkel, in denen die reflektierten Wellen eintreffen, lassen ein exaktes Bild der im Boden versteckten Objekte entstehen. Für noch mehr Genauigkeit sorgt die polarimetrische Antennentechnologie. Bräu erklärt den Ansatz: »Wir nutzen das Phänomen, dass Objekte, die Radarwellen reflektieren, auch deren Polarisation ändern, also die Ebene, in der die elektromagnetische Welle schwingt. Die veränderten Polarisationsdaten liefern uns zusätzliche Informationen über die Geometrie und die Abmessungen des jeweiligen Objekts.«

An einem Fahrzeug montiert, entdecken die Radarsysteme auch Minen, die 10 bis 20 Meter vor dem Fahrzeug vergraben sind. Bei trockener Umgebung könnten die Radarwellen bis zu einem Meter in den Boden eindringen. Nasser Untergrund dämpft die elektromagnetischen Wellen und erschwert die Erkennung.

## Störersysteme verhindern die Auslösung von Sprengfallen

Manchmal ist eine Mine gar keine Mine, sondern eine RCIED (Radio Controlled Improvised Explosive Device), also eine Sprengfalle, die per Funk ausgelöst wird, sobald ein Fahrzeug oder Menschen in der Nähe sind. Dagegen schützen Störersysteme. Die Systeme senden Signale aus, die sich wie ein Rauschteppich über die Umgebung legen, sodass der Funkempfänger im RCIED das auslösende Signal für die Sprengung nicht mehr »versteht«. So dienen die Störersysteme auch dem Selbstschutz der Minenräumer.

Dennis Gläsel ist Projektleiter Störung in der Abteilung Kommunikationssysteme am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informations-



verarbeitung und Ergonomie FKIE in Wachtberg. Er arbeitet an der Weiterentwicklung und Optimierung der Störersysteme, die bei der Bundeswehr zum Einsatz kommen. Sie müssen Signale mit ganz unterschiedlichen Frequenzen und Stärken stoppen. Die Funkspezialisten aus Wachtberg nutzen hier beispielsweise die Sweep-Technik. Dabei wird das ausgesendete Störsignal in Zickzacklinien über einen vordefinierten Frequenzbereich geführt. Der Frequenzwechsel findet in Mikrosekunden statt. Minenräum-Teams geraten immer wieder in Situation, in denen mehrere feindliche Systeme vorhanden sind oder vermutet werden. Deshalb arbeiten die Fraunhofer FKIE-Forschenden an Algorithmen, die automatisch die lokale Signalsituation analysieren, um die Störleistung auf die relevanten Frequenzen konzentrieren zu können. Die Algorithmen legen in kürzester Zeit fest, ob Frequenzen geändert werden und wie lange sie beibehalten werden müssen.

»Neue Technologien aus der zivilen Welt wie etwa die Mobilfunktechniken 5G und 6G werden zunehmend auch für RCIEDs, Minen oder zur Drohnensteuerung genutzt«, erklärt Gläsel. »In diesem Wettlauf forschen wir laufend weiter, da-

Ein Entschärfer demonstriert während der NATO-Übung NEMO 2022 die Arbeit an der per Funk auslösbaren Sprengfalle RCIED.

mit die Bundeswehr die Störfähigkeit ihrer Systeme verbessern und ihre Soldatinnen und Soldaten besser schützen kann.«

Dabei ist die internationale Zusammenarbeit ein entscheidender Faktor. Das FKIE-Team arbeitet mit Experten aus vielen NATO-Ländern zusammen. Neben regulären Meetings in einem sogenannten »Team of Experts« treffen sich die Fraunhofer FKIE-Forschenden jährlich mit Partnern, um in Labormessungen und alle zwei Jahre in Freifeldmessungen die Störsysteme auszuwerten und neue Technologien zu erproben.

Die Gefahr bleibt – auch für die Minenräumer. Physiker Armin Keßler, Projektgruppenleiter Technische Sicherheit der Abteilung Energetische Systeme am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, betont allerdings: »Professionelle Minenräumung ist kein Abenteuer mit Nervenzitter, sondern das Ergebnis einer komplexen Prozesskette.« An der Planung der Prozesskette arbeitet das Fraunhofer ICT. »Wir klassifizieren Explosivstoffe, sorgen für die sichere Handhabung und formulieren Sicherheitskonzepte für jeden Schritt«, sagt Keßler. Kurz: Die Forschung versucht, das Risiko kalkulierbar zu machen. ■



Nicht nur die Zutaten,  
auch die richtige  
Verarbeitung sind für  
den Geschmack  
entscheidend.



# Schoko-Genuss ohne Abstriche

Zartbitterschokolade ist nicht jedermanns Sache. Auch viele Veganer oder Laktoseintolerante lieben den zarten Schmelz und die Süße der Milkschokolade. Am Fraunhofer IVV wird ihnen geholfen.

Von Dr. Sonja Endres



**W**eihnachtszeit ist Schokoladenzeit. Egal ob als Weihnachtsmann, Engel oder goldene Glocke: Rund die Hälfte aller Deutschen bevorzugt Milchschokolade. Gleichzeitig wollen immer mehr Menschen ganz oder teilweise auf Kuhmilch verzichten – aus Tierschutz-Gründen, wegen Unverträglichkeiten, oder weil sie sich vegan ernähren. Ein Drittel, so das Ergebnis einer Statista-Umfrage von 2021, sucht Genuss ohne Kuhmilch.

Damit der bei Schokolade gelingt, forscht Dr. Isabell Rothkopf am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV an dem perfekten veganen Ersatz. Zartschmelzend soll er sein, eine feine Süße haben und ein vollmundiges Aroma. »Bisher auf dem Markt erhältliche Produkte überzeugen mich da nicht«, urteilt Schokoladen-Profi Rothkopf. Häufig fehlt der zarte Schmelz, etwas Raues bleibe auf der Zunge, der Pflanzengeschmack dominiert. Der Fehler? Die Hersteller ersetzen Kuhmilch durch gängige Alternativen wie Hafer-, Mandel- oder Sojamilch. »Das funktioniert aber nicht«, befindet Rothkopf, »weil Kuhmilch in Schokolade nicht nur Füllstoff ist, sondern sich in vielerlei Hinsicht auf das Produkt auswirkt.« Schon mit der Verarbeitung der Kuhmilch verändert sich das Aroma, schmeckt die Schokolade beispielsweise eher nach frischer Milch oder nach Karamell. »Das bekomme ich mit pflanzlichen Produkten nicht hin, weil mir der Milchsucker fehlt«, so Rothkopf. Auch wirke sich die Milch auf die Fließigenschaften, die Optik und die Haltbarkeit aus. »Wir analysieren daher zunächst genau: Was macht die Kuhmilch alles in der Schokolade? Welche Effekte haben Milchsucker, -fett und -protein?«

### Haselnussöl statt Milchfett

Als Erstes nahmen sich Rothkopf und ihr Team das Milchfett vor und stellten fest, dass man es durch regionale pflanzliche Öle hervorragend ersetzen kann. »Wenn man Haselnussöl verwendet, bekommt man auch diesen nussigen Charakter der Schokolade sehr gut hin«, erklärt sie. Problematischer ist der Milchsucker, die Laktose. Haushaltszucker ist zu süß, daher experimentiert das Fraunhofer IVV-Team mit Trauben- und Fruchtzucker sowie einem neuen Zucker, der Tagatose, und einem innovativen Süßstoff, der Allulose.

Auch das Milchprotein lässt sich nicht so einfach durch pflanzliche Proteine austauschen. Ver-

mutlich wirkt es leicht emulgierend, sodass sich Kakaobutter und Zucker besser verbinden. Rothkopf untersucht zurzeit verschiedene pflanzliche Alternativen, die sie in ihrer Schokolade testen will. Dabei kann sie auf eine umfassende institutseigene Datenbank zurückgreifen.

Um dem typischen Milchsokoladengeschmack möglichst nahezukommen, variiert das Fraunhofer IVV-Team nicht nur die Zutaten, sondern passt auch die Verarbeitungsprozesse kontinuierlich an. Rothkopf: »Pflanzliche Produkte haben beispielsweise häufig Faserstoffe. Die muss ich anders zerkleinern, damit ich später keine störenden Partikel auf der Zunge habe.« Beim Conchieren, einem speziellen Knet- und Rührprozess, der entscheidend für die Fließigenschaften der Schokolade ist und der Aromaveredlung dient, experimentieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit verschiedenen Temperaturen, verändern Knetdauer und -stärke. »Wichtig ist, dass sich das Aroma gleichmäßig in der Masse verteilt. Ungewollte Stoffe, zum Beispiel Essigsäure, die im Rohkakao in großen Mengen enthalten ist, sollen sich verflüchtigen, die gewollten Aromen aber gleichzeitig erhalten bleiben.«

### Verlockende Optik, längere Haltbarkeit

Ein weiteres Manko herkömmlicher veganer Schokoladen ist die Optik. Oft fehlt eine makellose, glänzende Oberfläche, stattdessen legt sich schnell ein grauer Schleier über die Riegel, der sogenannte Fettreif. Rothkopf: »Das kennt man auch von normalen Milchsokoladen. Wenn sie nicht sachgerecht gelagert wurden oder schon älter sind, wandert das Fett nach oben und kristallisiert. Das klassische Milchprotein, das Casein, hat nach neusten Untersuchungen vermutlich eine fettreifverzögernde Wirkung. Das Produkt ist daher länger haltbar.« Die Schokolade könne zwar trotz Fettreif noch bedenkenlos verzehrt werden, doch der Geschmack lasse ein wenig nach. Die Pflanzenöle, die das Fraunhofer IVV-Team in der Schokolade einsetzt, sind auch in diesem Punkt vorteilhaft: Sie hemmen die Fettreif-Bildung. »Entscheidend ist, dass die Öle relativ früh gut in die Masse eingearbeitet werden. Dann ist das Fett weniger mobil.« Die Optik spielt gerade beim Genuss eine wichtige Rolle. Die Weihnachtsbotschaft der Schokoladen-Fachfrau Rothkopf: »Es muss appetitlich aussehen. Schließlich will man sich ja was gönnen.« ■

Schokolade hält sich am längsten, wenn man sie **dunkel und kühl** bei etwa

# 18

**Grad Celsius**

lagert. Dann stehen die Chancen sogar gut, sie noch beim Weihnachtsfest im nächsten Jahr verzehren zu können.



Beschlagene  
Oberflächen ade:  
Das Fraunhofer IOF  
sorgt für Durchblick.

# Schicht für Schicht klare Sicht

Wenn im Auto die Scheibe beschlägt, ist das lästig. Wenn die Kamera eines autonomen Fahrzeugs beschlägt, kann das schnell gefährlich werden. Ein neues optisches Schichtsystem soll das verhindern.

Von Stefanie Smuda

**K**ann man Glas dazu bringen, nicht mehr zu beschlagen? Diese Frage treibt nicht nur Brillenträger um, sondern auch Anne Gärtner, Doktorandin am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF. Sie beschäftigt sich mit Antireflexschichten (kurz: AR-Schichten) und hat mit ihrem Team ein System entwickelt, das gleich zwei Probleme auf einmal löst: Es verhindert, dass Oberflächen beschlagen und dass Reflexionen entstehen.

»Brillenträger kennen das: Wenn man von der Kälte in einen warmen Raum kommt, kann die Brille beschlagen und somit die Sicht stark einschränken«, sagt Gärtner. »Das Gleiche kann bei Sensoren wie den LiDAR-Systemen in autonom fahrenden Autos passieren. Hier ist es wichtig, dass die Oberflächen auch bei Beschlag hochtransparent bleiben, damit die Funktionalität fortbesteht.«

Um Reflexionsverlust, Geister- und Störbildern in optischen Systemen entgegenzuwirken, sind Ent-



spiegelungen notwendig. Bereits bei einer einzelnen nicht entspiegelten Linse treten Reflexionen auf – und sie summieren sich bei Systemen mit mehreren Linsen: Je nach Brechungsindex des Substratmaterials können pro Grenzfläche circa vier Prozent Reflexionsverlust auftreten. Um dies zu verhindern, werden mit der sogenannten AR-plas®-Technologie Nanostrukturen auf optischen Oberflächen erzeugt.

Das Prinzip der AR-plas®-Technologie geht auf die Natur zurück: Auf den Augen nachfliegender Motten findet man antireflektierende Strukturen, auch Mottenaugenstrukturen genannt. »Motten haben schwarze Augen, die unter dem Mikroskop eine Mikro- sowie eine Nanostruktur offenbaren. Diese Nanostrukturen bilden wir im Labor nach«, erklärt Dr. Astrid Bingel, Gruppenleiterin am Fraunhofer IOF. Dabei wird die Oberfläche so manipuliert, dass störende Reflexe deutlich reduziert werden.

Die Leica Geosystems AG aus Heerbrugg in der Schweiz hatte sich an das Fraunhofer IOF gewandt, um gemeinsam an einem AR-Schichtsystem für LiDAR-Systeme zu arbeiten. Das Unternehmen entwickelt luftgestützte LiDAR-Messsysteme, die für die Gelände- und Stadtekartierung eingesetzt werden. Die Abkürzung LiDAR steht für »Light detection and ranging« und bezeichnet Lasersysteme, die der optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung dienen.

### AR-plas2-Technologie: Reflexionen reduzieren, Beschlagen verhindern

Die Messsysteme werden zum Beispiel an Vermessungsflugzeugen angebracht, die Aufnahmen aus mehreren tausend Metern Höhe anfertigen. Dabei durchqueren sie mitunter verschiedene Luftschichten, wodurch es zu extremen Temperaturunterschieden zwischen dem LiDAR-System und der Umgebung kommen kann. In der Folge beschlagen die optischen Oberflächen, die Funktionalität wird beeinträchtigt. Gesucht wurde demnach eine Lösung, die nicht nur Reflexionen für einen speziellen Wellenlängen- und Einfallswinkelbereich reduziert, sondern auch das Beschlagen von optischen Oberflächen verhindert.

Anne Gärtner und ihr Team entwickelten ein neuartiges Schichtsystem mit der AR-plas2-Technologie,

einer Weiterentwicklung des ursprünglichen AR-plas®-Verfahrens. Damit lassen sich mehrere Nanostrukturen übereinander erzeugen. Im konkreten Fall wurde eine Polymerbeschichtung mit Nanostrukturen kombiniert. »Wir haben einen speziellen Lack verwendet, der das Beschlagen einer optischen Oberfläche verhindert, indem er als Wasserspeicher dient«, erklärt Gärtner. Dieser Antifog-Lack wirkt wie ein Wasser-

reservoir und quillt auf, sobald die Oberfläche feucht wird. Dadurch beschlagen die optischen Oberflächen im LiDAR-System nicht.

»Mithilfe der AR-plas2-Technologie haben wir anschließend eine Nanostruktur in den Lack geätzt und eine zweite Nanostruktur darüber aufgebracht«, erläutert Dr. Astrid Bingel. Durch die spezielle Prozessführung wird das Polymer hydrophiler: Anstelle von Tropfen bildet sich auf der Oberfläche ein gleichmäßiger Film, der die Sicht nicht be-

einträchtigt. »Die Unterschiede in den Brechungsindizes des Polymermaterials und der umgebenden Luft führen jedoch zu unerwünschten Reflexionen und Geisterlicht im optischen System«, ergänzt Gärtner. Hier bewirkt die doppelte Nanostruktur, dass Reflexionen über einen breiten Spektralbereich hinweg minimiert werden. Die Funktion des darunterliegenden Antifog-Lackes wird jedoch nicht beeinträchtigt.

Das AR-plas2-Verfahren bringt den Forschenden maximale Flexibilität: »Wir können entweder mehrere Nanostrukturen übereinander stapeln oder eine Nanostruktur mit einem klassischen Schichtsystem kombinieren. Dadurch haben wir ein breites Baukastenprinzip für die Entwicklung optischer Designs«, sagt Gärtner. Die Technologie ist auf fast allen Arten von Materialien – von Polymeren über Glas bis hin zu Fluoridkristallen – und in vielen Bereichen einsetzbar. Vor allem in der Automobilindustrie für Systeme des autonomen Fahrens sowie im Konsumgüterbereich, etwa für Smartphone-Kameras, werden kombinierte Nanostrukturen bereits genutzt. An einem Einsatz für Quantencomputing wird derzeit ebenfalls geforscht.

Eine Einschränkung gibt es aber doch: Nanostrukturen sind berührungsempfindlich. Das Schichtsystem eignet sich daher vor allem für innenliegende Flächen. Brillenträger müssen somit leider weiterhin zum Putztuch greifen. ■

»Motten haben schwarze Augen, die unter dem Mikroskop eine Mikro- sowie eine Nanostruktur offenbaren.«



Dr. Astrid Bingel,  
Fraunhofer IOF



EUROPA

**Sauberes Fliegen**

An einer klimaschonenden Luftfahrt arbeiten Forschende im Verbundprojekt HERWINGT, an dem 25 europäische Partner beteiligt sind. Gemeinsam entwickeln sie neuartige Hochleistungsflügel für hybrid-elektrische Regionalflugzeuge mit einer Reichweite von bis zu 1000 Kilometern, die dazu beitragen, den Treibstoffverbrauch um 50 Prozent zu senken. Das innovative Tragflächenkonzept beinhaltet eine größere Flügelstreckung mit verbesserter Aerodynamik, neue Strukturkonzepte und Materialien zur Reduzierung des Gewichts sowie Flügelkraftstoffsysteme, die mit Biotreibstoff kompatibel sind. Darüber hinaus wird die Integration elektrischer Systeme nachhaltig verbessert. Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS bringt seine Expertise in der anwendungsspezifischen Datenerfassung in das Projekt ein und unterstützt die Entwicklung eines in die Tragflächen integrierten, ultraschallbasierten Sensor-Messsystems. Mit diesem sogenannten Structural Health Monitoring (SHM) wird der Strukturzustand und damit die Funktionssicherheit der Tragflächen kontinuierlich überwacht. Die klimafreundlichen Regionalflugzeuge sollen ab 2035 auf den Markt kommen.



Kurzstreckenflüge ohne schlechtes Gewissen sollen hybrid-elektrische Regionalflieger ermöglichen.

**Fraunhofer international**



USA  
**Edel unterwegs**

Diamanten sind nicht nur schön, sie sind auch hervorragende Wärmeleiter und übertreffen Kupfer darin um das Fünffache. Diese außergewöhnlichen thermischen Eigenschaften nutzen Forschende von Fraunhofer USA für die Kühlung der elektrischen Komponenten in Elektrofahrzeugen. Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist es gelungen, Nanomembranen aus synthetischem Diamant zu entwickeln, die dünner als ein menschliches Haar sind. Die flexiblen Membranen können

direkt in bestehende elektronische Bauteile integriert werden und reduzieren die lokale Wärmebelastung um das bis zu Zehnfache. Energieeffizienz, Lebensdauer und Fahrleistung von E-Autos werden dadurch maßgeblich verbessert. Ein weiterer Vorteil: In der Ladeinfrastruktur tragen die Diamantmembranen zu einer fünffach höheren Ladegeschwindigkeit bei. Auch Großrechner in Rechenzentren könnten in Zukunft mithilfe der neuen Technologie effizienter gekühlt werden.

Effizienter fahren und schneller laden mit Diamanten.





## SÜDAFRIKA

### Klimafreundlicher Strom für Südafrika

Ein mobiles und autarkes Stromversorgungssystem auf Basis von Wasserstoff haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU gemeinsam mit südafrikanischen und deutschen Unternehmen sowie der Universität Stellenbosch bei Kapstadt entwickelt. In den sogenannten Microgrids von der Größe eines halben Schiffcontainers werden Elektrolyseure, die grünen Wasserstoff erzeugen, mit Brennstoffzellen zur Rückverstromung kombiniert. Das System ist an externe Solarquellen angeschlossen; für eine völlig autarke Lösung genügt es, die Dachfläche des Containers mit Photovoltaik auszustatten. Ziel des Projekts HyTrA ist es, Wasserstofftech-

nologie als klimafreundliche und zuverlässige Stromversorgung in Südafrika zu etablieren und durch öffentlich zugängliche Demonstratoren die Akzeptanz in der Bevölkerung zu erhöhen. Eine erste industrielle Anwendung ist in Kapstadt bei einem Hersteller für fahzeugbasierte Dachzelte in Betrieb.



Flexible Microgrids erzeugen aus Solarenergie Wasserstoff.



Bisher sorgt erdölbasierte Kunststoffolie dafür, dass auf einer Palette Einzelteile beim Transport nicht verrutschen.



## ÖSTERREICH

### Nachhaltig mit Folie verpacken

Eine biobasierte Stretchfolie, die innerhalb weniger Wochen vollständig und rückstandsfrei kompostierbar ist, hat ein Forschungskonsortium unter Leitung von Fraunhofer Austria entwickelt. Die Folie erfüllt alle Anforderungen für den Einsatz in der Logistik. Ihre Materialzusammensetzung, die auf verschiedenen milchsäurebasierten Biokunststoffgranulaten, sogenannten Polylactiden (PLA), basiert, zeigt bessere mechanische Eigenschaften wie Dehnbarkeit, Elastizität und Zugfestigkeit als herkömmliche Stretchfolien. Die innovative Bio-Folie kann zudem bis zu sechsmal ohne Qualitätsverlust recycelt werden.

Um Paletten zu sichern, ist Stretchfolie in der Transportlogistik allgegenwärtig – als erdölbasierte Einwegverpackung, die bisher nur zu einem Bruchteil wiederverwertet wird. Gelangt der Kunststoff in die Umwelt, dauert es bis zu 400 Jahre, bis er sich auflöst, oft entsteht dabei umweltschädliches Mikroplastik. Ein weiteres Ziel des Projekts ist es daher, die Bio-Folien so effizient wie möglich zu nutzen: Eine neu entwickelte Steuerungstechnik für Maschinen, die Paletten automatisch mit Stretchfolie umwickeln, hat bislang eine Materialeinsparung von 30 Prozent ermöglicht. Sie wird zusammen mit der innovativen Folie aktuell in der Pilotfabrik der TU Wien für die industrielle Anwendung getestet.



## DÄNEMARK

### Perfektes Kaffeearoma dank KI

Für einen ungetrübten Kaffeegenuss sorgt in Zukunft Künstliche Intelligenz (KI): Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA arbeitet gemeinsam mit dem Danish Technological Institute DTI an der Weiterentwicklung eines KI-Modells, das Kaffeemischungen anhand vorgegebener

Geschmacksprofile optimiert. Bislang testen Kaffeexpertinnen und -experten mit geschulten Geschmacksnerven das Aroma. Auf der Grundlage von Daten über Bohnensorten, Geschmackskomponenten, Mischungsverhältnisse und Röstgrade wurde die KI darauf trainiert, die besten Rezepturen zum günstigsten Preis zu erstellen. Ziel war ein transparenteres Modell mit einer einfacheren Struktur, um nachvollziehbare Lösungen zu erhalten. Mithilfe der KI können Kaffeeproduzenten den Beschaffungsprozess für Rohkaffee flexibel an saisonale Bedingungen und Preisschwankungen anpassen, ohne dass die Qualität beeinträchtigt wird.

Der Geruch ist ein wichtiges Bewertungskriterium für Kaffeesommeliers.



# Das Leben ist süß

Alles auf Zucker: Die Glykobiotechnologie eröffnet eine Fülle von Möglichkeiten – vor allem für die Diagnose und Therapie von Krankheiten.

Von Beate Strobel

**Z**ucker hat ein Imageproblem. Wer zu viel davon isst, erhöht sein Risiko für Karies und Übergewicht, für Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes mellitus, Fettleber oder Gicht. Doch der süße Stoff kann auch anders. »Ohne Zucker«, bilanziert Prof. Ruben R. Rosencrantz, »gäbe es kein Leben.«

Der Chemiker und Biologe erforscht am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam die guten Seiten der Glykane, wie die Biomolekülklasse der komplexen Zucker auch heißt. Glykobiotechnologie gilt als eine echte Zukunftswissenschaft. Denn von dem, was diese Zucker können, erhofft sich die Forschung spannende Innovations-Ansätze für die Arzneimittelindustrie, Lebensmittel- und Kosmetikbranche oder Medizintechnologie.

**Lebewesen benötigen Zucker** nicht allein als Energielieferant. Nahezu jede menschliche Zelle trägt auf der Oberfläche einen ganz spezifischen Zuckerpelz. Die Glykane darin sind an Fette und Proteine gekoppelt und ragen wie kleine Antennen aus der Zelloberfläche. Der Job dieser Glykoproteine und Glykolipide ist der eines Funkers: Sie reichen externe Informationen ans Zellinnere weiter oder geben interne Signale an andere Zellen sowie vorbeitreibende Proteine weiter. Und sie dienen als Andockstelle für bakterielle wie virale Besucher. Aufgabe des Immunsystems wiederum ist, die Zuckerstruktur von Zellen zu scannen und herauszufinden, ob diese zum körpereigenen System gehören oder aber als gefährliche Eindringlinge

vernichtet werden müssen. Im Fall einer Entzündung schnappen spezielle Proteine (sogenannte Selektine) die weißen Blutkörperchen an ihren Zuckerantennen und schieben sie durch die Wand des Blutgefäßes ins entzündete Gewebe. »Ohne korrekte Glykosylierung, also die Modifikation mit speziellen Zuckern, sind Proteine in ihrer Funktion eingeschränkt«, erklärt Dr. Sophia Rosencrantz, die wie ihr Ehemann Ruben am Fraunhofer IAP mit Schwerpunkt Glykobiotechnologie forscht.

»Ohne Zucker  
gäbe es kein  
Leben.«

Ruben R. Rosencrantz,  
Fraunhofer IAP

Dass die Natur auf die Hilfe von Glykanen vertraut, liegt auch an deren Variabilität: Während Eiweiße lediglich aus Aminosäure-Ketten bestehen, setzen sich Glykane aus ringförmigen Einfachzuckern zusammen, die sich hinsichtlich Baustein-Abfolge, Verknüpfungsart, Kettenlänge und Verzweigungsgrad unterscheiden können. Schon bei der Kombination von drei Einfachzuckern sind mehr als 27 000 unterschiedliche Molekularstrukturen denkbar. Wenn man sich dann noch vorstellt, dass allein an einem Eiweißmolekül gleich mehrere unterschiedliche Zucker hängen können, die alle die Eigenschaften und Funktionen des Proteins mitbestimmen,



Zucker ist das pure  
Geschmacksglück – und  
kann doch sehr viel mehr,  
als nur süß zu schmecken.





Foto: P.Lubitz + Dörner/plainpicture

wird klar, welche Feinjustierung durch Glykane möglich ist.

**Der medizinischen Forschung öffnen sich immer neue Wege** für Diagnose und Therapie. Sophia Rosencrantz forscht innerhalb des Fraunhofer Cluster of Excellence Immune-Mediated Diseases CIMD an einer Methode zur Frühdiagnose der rheumatoiden Arthritis, einer der häufigsten Formen der chronischen Gelenkentzündung. »Bekannt ist, dass diese Autoimmunerkrankung mit einer fehlerhaften Glykosylierung bestimmter Immunglobuline einhergeht«, erklärt die Biotechnologin. »Wir wollen nun ein Tool entwickeln, mit dem sich die Zuckerstruktur der Immunglobuline frühzeitig scannen lässt – um im Idealfall die Krankheit noch vor Ausbruch zu therapieren und womöglich sogar zu heilen.« Auch in der Krebsforschung hofft man, Glykane als Biomarker einsetzen zu können, da Tumorzellen oftmals ein anderes Zuckermuster an ihrer Oberfläche besitzen als gesunde Zellen.

Außerdem arbeitet Sophia Rosencrantz daran, die Glykosylierung von Antikörpern enzymatisch zu verändern, sodass diese eine bessere oder erweiterte Wirkung zeigen. »Durch Modifikation seiner Zuckerantennen wird der Antikörper gezielt in Zellen eingeschleust und bringt seine schädliche Protein-Fracht mit, um diese dort zum Abbau zu zwingen«, erklärt sie. Eine Methode, die künftig zur Entwicklung passgenauer und dadurch hocheffektiver Medikamente beitragen soll.

Ruben R. Rosencrantz wiederum beschäftigt sich mit der Herstellung von Glykopolymeren, also von Polymeren, die über präsentierte Glykane zuckerbindende Proteine oder auch Toxine einfangen können. »Anders als Antibiotika, die in den Stoffwechsel eines Bakteriums eingreifen, bieten sich diese sogenannten Patho-Blocker gezielt bestimmten Krankheitserregern als Bindepartner an und verhindern deren Bindung an das eigentliche Zielgewebe. Wir erhoffen uns durch diese Therapieform eine geringere Ausbildung von Resistenzen als bei Antibiotika.«

**Für ein deutsch-israelisches Projekt** hat Prof. Rosencrantz zudem Glykopolymer entwickelt, die das Tragen von Kontaktlinsen nicht nur angenehmer für das Auge machen, sondern auch der gezielten Freisetzung von Medikamenten dienen sollen. Im Zentrum stehen dabei sogenannte Mucine, spezielle Glykoproteine, die im Körper für alles zuständig sind, was gelartig oder glitschig ist. »Die Idee war, Kontaktlinsen mit solchen synthetisch hergestellten Mucinen zu beschichten, die den natürlicherweise im Auge vorkommenden Zucker-Gelen ähneln«, erklärt der Forscher. »In der Linse verkapselte Medikamente können dann langsam freigesetzt werden und so deutlich länger im Auge wirken als etwa über Augentropfen.«

Die extreme Vielfalt der Zuckerwelt offenbart viele Forschungsoptionen, ist aber zugleich auch eine Herausforderung für die Entwicklung von Medikamenten, Functional Food oder Kosmetika: »Die Zuckersynthese ist sehr komplex und damit auch sehr teuer«, erklärt Sophia Rosencrantz. Sobald auch nur einzelne Atome in der Ringstruktur an der falschen Stelle nach oben oder unten ragen, werden sie vom Körper als fremd erkannt. »Zucker sind Meister darin, mit minimalen Änderungen maximale Wirkungen hervorzurufen«, ergänzt Ruben R. Rosencrantz. »Deshalb muss eine chemische Synthese extrem kontrolliert ablaufen, um am Ende genau die Zuckerstruktur zu erhalten, die benötigt wird.«

**Zentrale Datenbanken und Künstliche Intelligenz** sollen die immens große Welt der komplexen Zucker künftig besser ordnen und die Vielzahl der Wechselwirkungen zwischen Glykanen, Proteinen und Lipiden für die Forschung und Industrie beherrschbarer machen. Selbst Insider wie das Ehepaar Rosencrantz tun sich schwer damit, das Potenzial abzuschätzen, das tatsächlich noch in der Glykobiotechnologie für die unterschiedlichen Branchen schlummert. Sicher ist nur eins: dass es enorm groß ist – und größtenteils noch unentdeckt. ■

Innovative Verfahren wie die Green-light Laser Vaporisation erlauben eine schonende Therapie gutartiger Prostata-Vergrößerungen. KI soll künftig die Diagnose optimieren.

# Künstliche Intelligenz für eine bessere Medizin

Krebs schneller erkennen und effizienter behandeln – bei diesen Aufgaben könnte KI langfristig wertvolle Dienste leisten.

Von Dr. Janine van Ackeren

**B**ei vielen Menschen löst die Technologie der Künstlichen Intelligenz (KI) aktuell vor allem Ängste aus: Laut einer repräsentativen Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Civey erwarten gut 80 Prozent der Deutschen, dass KI in den nächsten zehn Jahren teilweise bis starke negative Auswirkungen auf die Welt haben werde. Sie befürchten unter anderem eine Beeinflussung des öffentlichen Diskurses (57 %), Arbeitsplatzverluste (34 %) und eine wachsende ökonomische Ungleichheit (27 %). Doch die Risiken, die mit Künstlicher Intelligenz einhergehen, könnten durch die positiven Effekte überlagert werden, die diese Zukunftstechnologie etwa in der Medizin hat.

Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von KI im Feld der Diagnose und Behandlung von Prostatakrebs. In Westeuropa und Nordamerika ist das Prostatakarzinom die

bei Männern am häufigsten diagnostizierte Krebserkrankung und in dieser Gruppe die zweithäufigste krebsbedingte Todesursache.

## Die Abhängigkeit von der Expertise des Diagnostikers ist hoch

Zur Diagnose dienen zum einen der PSA-Wert (kurz für Prostata-spezifisches Antigen), zum anderen eine Biopsie, bei der ein Stück des Prostatagewebes entnommen und als Gewebeschnitt mikroskopisch untersucht wird: Wachsen die Zellen nach wie vor oder lösen sich die Zellverbände bereits auf? Zwar gibt es vorgegebene morphologische Muster, anhand derer die Mediziner die Gewebeschnitte analysieren, dennoch ist das Ergebnis von der Expertise des Diagnostikers abhängig. Deutlich wurde dies unter anderem in der PANDA-Challenge (Prostate cANcer graDe

Assessment), dem bislang größten Histopathologie-Wettbewerb für KI-Systeme, in der Pathologen dieselben Proben untersuchten und zu drastisch unterschiedlichen Ergebnissen kamen.

Künstliche Intelligenz soll die Diagnose schneller und vor allem genauer werden lassen – und es darüber hinaus ermöglichen, die Überlebensdauer des Patienten präziser vorherzusagen. Daran arbeiten im Projekt PROSurvival das Fraunhofer-Institut für Digitale Medizin MEVIS, die Charité-Universitätsmedizin Berlin sowie die Goethe-Universität Frankfurt; geleitet wird das Projekt vom Informatikinstitut OFFIS. »Unser Ziel ist es, direkt aus dem Bild eine Aussage über die wahrscheinliche Dauer des rezidiv-freien Überlebens zu treffen, ohne den Umweg über die subjektive Einteilung in morphologische Muster nehmen zu müssen«, erläutert Dr. Johannes Lotz, Wissenschaftler am Fraun-



hofer MEVIS. Im Zentrum steht damit eine Frage von großer Bedeutung: Wie lange wird es wahrscheinlich dauern, bis sich nach einer Entnahme der Prostata ein Rezidiv bildet, also weiteres Gewebe vom Krebs befallen wird?

Als Grundlage für diese Vorhersage dienen den Forschenden nicht die bislang verwendeten Mikroskopiebilder, sondern daraus erstellte »Tissue Concepts«. »Jedes Bild wird dafür von einer Künstlichen Intelligenz in eine niedrigdimensionale Darstellung umgerechnet, in der nur noch die relevanten Informationen enthalten sind«, sagt Lotz. Die reduzierte Version, so die Hoffnung des Forschungsteams, soll weiterhin bestimmte Gewebemerkmale aufzeigen, die mit einer hohen Lebensdauer assoziiert sind. Die Forschenden trainierten die KI mit zahlreichen Datensätzen, die nicht nur Daten und Bilder von Prostatakarzinomen enthielten. Denn die KI soll eine Art Allrounder werden, sich auf verschiedene medizinische Zentren und Kliniken übertragen lassen und als Grundlage für zahlreiche weitere Projekte dienen. Sie soll langfristig die Schwere von Brustkrebs untersuchen, Lymphozyten finden, Biopsien segmentieren und eben auch Prostatakrebs analysieren, wie im Projekt PRO-Survival. Damit das funktioniert, müssen die Bilder so reduziert werden, dass sich alle relevanten Fragen auch mithilfe der verringerten Datenmenge beantworten lassen. Um dies zu garantieren, füttern die Forschenden das System mit den Ausgangsdaten und lassen diese über die KI verkleinern. Ermöglichen die erhaltenen »Tissue Concepts« eine ähnlich genaue Auswertung wie die ursprünglichen Mikroskopiebilder? Diese Frage soll im Rahmen weiterer Projekte beantwortet werden. »In diesem Vortraining ist ein großer Teil der Variabilität enthalten, die man in der echten Welt erwartet«, bestätigt Lotz.

Die Unterschiedlichkeit der Datensätze ist auch darin begründet, dass sie in verschiedenen Gesundheitszentren entstehen. Denn wird eine Künstliche Intelligenz lediglich mit Daten aus einem einzigen Zentrum trainiert, dann funktioniert sie später auch nur genau dort und kann mit Daten aus einem anderen Zentrum Schwierigkeiten haben. Zurückzuführen ist das vermutlich auf Unterschiede beim Färben

der Gewebeschnitte. »Es ist mittlerweile Konsens, dass multizentrische Daten nötig sind, also Daten aus verschiedenen Zentren und Kliniken«, erläutert Lotz. Ein Ansatz, der sich in der Praxis jedoch als schwierig erweist, schließlich handelt es sich um sensible Daten, die die behandelnden Kliniken aus gutem Grund ungern aus der Hand geben. Auch für diese Herausforderung bietet der Ansatz der »Tissue Concepts« eine Lösung: Jedes Zentrum lernt vor Ort seinen eigenen Deep-Learning-Algorithmus mit dem gesamten vorliegenden Datensatz an, der auch die sensiblen hauseigenen Daten enthält. Die Zwischenergebnisse werden über einen koordinierenden Knoten mit den anderen Zentren ausgetauscht. Dieser achtet darauf, dass am Ende alle Algorithmen das Gleiche gelernt haben. »Üblicherweise muss man bei einem solchen föderierten Lernen stets das gesamte Modell

Die KI soll eine Art Allrounder werden und als Grundlage für zahlreiche weitere Projekte dienen.

austauschen. Da wir die reduzierten Daten verwenden, ist die ausgetauschte Datenmenge deutlich kleiner, der Datenaustausch dürfte schneller gehen«, sagt Lotz. Und: Die ausgetauschten niedrigdimensionalen Darstellungen enthalten keinerlei sensible Daten; diese verbleiben in den Kliniken. Ausgetauscht werden lediglich die Algorithmen samt den Vorhersagemodellen.

Neben dieser ersten, projektübergreifenden KI-Anwendung entwickeln die Forschenden ein zweites Deep-Learning-System, das speziell den Prostatakrebs im Fokus hat. Dieses soll aus den reduzierten Daten diverse Vorhersagen machen: Wie ist das Grading des Tumors? Wie lang ist die voraussichtliche rezidiv-freie Überlebenszeit? Wo im Bild sind die Tumorbereiche und welche Gewebemuster sind besonders prädictiv? Diese Fragen, so hoffen die Forschenden, dürften sich in einigen Jahren mithilfe der Künstlichen Intelligenz deutlich schneller und genauer beantworten lassen

– mit allen damit verbundenen Vorteilen für die Behandlung betroffener Patienten.

## KI für die Krebsregister

Hilfreich ist die Künstliche Intelligenz im Bereich der Krebsbehandlung auch im Hinblick auf große Textmengen, wie sie etwa in den Krebsregistern der jeweiligen Bundesländer zusammenlaufen: Dort werden alle Daten zu Krebserkrankungen und onkologischen Behandlungen systematisch erfasst, ausgewertet und bereitgestellt – mit dem Ziel, Tumorerkrankungen möglichst frühzeitig erkennen zu können und die Krebstherapie zu verbessern. Die Krebsregister sammeln also Daten zu den Verläufen von Therapien auf einer großen Datenbasis. Welche Behandlungen zeigen bei welchen Tumorarten Erfolg? Welche Präventions- und Früherkennungsprogramme sind sinnvoll? Gibt es in bestimmten Krankenhäusern Verbesserungsbedarf? Dazu reichen Kliniken die Daten ihrer Tumorpatientinnen und -patienten ein: von der Diagnose über einzelne Behandlungsschritte und die Nachsorge bis hin zu Rückfällen und möglicherweise dem Tod. Aufgrund dieser Datenlage können Wissenschaftler den Erfolg von Behandlungen bewerten und neue Erkenntnisse in die breite medizinische Versorgung bringen.

Die Krux an der Sache: Die Meldungen, die die klinischen Krebsregister erhalten, bestehen zum großen Teil aus unstrukturiertem Freitext, sprich aus freien Formulierungen der behandelnden Mediziner. Die Dokumentare der Krebsregister müssen also zunächst jeden Bericht lesen, auf Plausibilität überprüfen und die Daten manuell ins Krebsregister übertragen – und zwar in einer strukturierten Form, in der sich die Daten gut auswerten lassen. Bei Hunderttausenden von Befunden jährlich gleicht das einer Herkulesaufgabe.

Die Künstliche Intelligenz soll den Dokumentaren diese Arbeit erleichtern. Entwickelt wird die entsprechende KI im Projekt TeMeK (»TextMining von Meldungstexten für einheitliche Klassifikationen«), an dem sich das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE, die Averbis GmbH, das Universitätsklinikum Freiburg und das Krebsregister ►

Baden-Württemberg beteiligen. Die Krebsregister Berlin/Brandenburg, Hessen und Rheinland-Pfalz steuern außerdem Fachwissen und Daten bei. »Interessant ist die KI-Anwendung insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Meldungen in den letzten Jahren nicht mehr nur makroskopische und mikroskopische Informationen enthalten – also die Position und Größe des Tumors sowie die histologische Untersuchung der Zellen im Labor. Sondern, und das ist eine bahnbrechende Wendung in der Krebsforschung, mittlerweile auch die Ergebnisse von DNA-Analysen der Tumorzellen«, sagt Dr. Hanna Geppert, Forschungsgruppenleiterin am Fraunhofer FKIE. Dabei wird im pathologischen Labor untersucht, ob bestimmte Gene in den Tumorzellen Defekte, sogenannte Mutationen, aufweisen. So lassen sich bei einigen Lungentumoren verschiedene Genmutationen erkennen. Für manche dieser Genmutationen gibt es konkrete Therapieansätze, die genau an der Mutation angreifen. DNA-Analysen eröffnen zum Teil neue therapeutische Möglichkeiten und verbessern langfristig die Behandlung von Krebs.

»Da die genetische Tumordiagnostik noch recht neu ist, gibt es weder eine standardisierte Methode, um darüber zu berichten, noch eine standardisierte Methode, um diese Informationen strukturiert zu übermitteln«, weiß Geppert. »Doch die Wissenschaftswelt ist zugleich auf die Ergebnisse der genetischen Untersuchungen angewiesen, um im großen Stil neue Erkenntnisse zu generieren.« Die Forschenden des Fraunhofer FKIE widmen sich im Projekt daher den neuen Teilen der Berichte. »So ein Meldungstext ist häufig eine Aneinanderreihung mehrerer Befunde mit Ergebnissen unterschiedlichster Untersuchungsmethoden in unvorhersehbarer Reihenfolge und Struktur«, erläutert Geppert. In einem ersten Schritt muss die Künstliche Intelligenz den Text durchforsten und herausfinden, ob Ergebnisse von genetischen Untersuchungen enthalten sind und wenn ja, wo.

### Traditioneller versus KI-Ansatz

Die Basis für diese Aufgabe legen 20 000 Meldungstexte mit entsprechenden Passagen, die die Forschenden von den Krebsregistern erhalten haben, sowie weitere

Texte als Gegenprobe, in denen keine Ergebnisse von Gen-Analysen enthalten sind. Anhand dieser Daten untersuchte das Team, ob sich Machine-Learning-Ansätze besser für diese Aufgabe eignen als traditionelle Text-Mining-Ansätze. Der Unterschied: Während sich der Computer sein Wissen beim Machine-Learning selbstständig erschließt, erstellen beim traditionellen Ansatz die Forschenden die Regeln und Muster, die der Computer anschließend selbstständig ausführt. »Beim ersten Schritt ist der traditionelle Ansatz schneller und besser als die KI. Machine-Learning-Ansätze zu verwenden, würde in diesem Fall bedeuten, mit Kanonen auf Spatzen zu schießen«, erläutert Geppert.

»Die Wissenschaftswelt ist auf die Ergebnisse der genetischen Untersuchungen angewiesen, um im großen Stil neue Erkenntnisse zu generieren.«

Dr. Hanna Geppert,  
Fraunhofer FKIE



Auch beim zweiten Schritt – wenn es darum geht, im genetischen Befundteil die zusammenfassende Beurteilung des Pathologen zu finden – scheint der traditionelle Ansatz die bessere Wahl zu sein. »Bei einem drei- bis fünfseitigen Bericht suchen wir die Nadel im Heuhaufen, also die paar Sätze, in denen der Pathologe schreibt: ›Kein Nachweis einer MET Exon14 Skipping Fusion‹ – oder: ›Eindeutiger Nachweis einer aktivierenden KRAS-Mutation: p. Gly12Val.. Solche Sätze müssen wir finden und richtig verstehen«, erklärt Geppert. Diese »Nadeln« werden die Forschenden, so zeichnet es sich derzeit ab, wohl auch eher über traditionelle Text-Mining- statt über Machine-Learning-Ansätze finden.

Die Forschenden extrahieren die Vielfalt an Schreibweisen und Ausdrucksweisen für Genbezeichnungen und Mutationen aus den Berichten, bündeln sie und geben die Ergebnisse zurück an die Krebsregister – damit diese Standards für künftige Notationsformen festlegen können.

Sind die richtigen Berichte und die elementaren Sätze im Dokument gefunden, ist voraussichtlich der ganze Werkzeugkasten der Künstlichen Intelligenz gefragt. »Wir experimentieren mit dem gesamten Methodenspektrum – traditionelle Text-Mining-Verfahren für die ersten Schritte ebenso wie neueste Deep-Machine-Learning-basierte Sprachmodelle«, fasst Geppert zusammen. Die Aufgabe der KI: Sie soll die benötigten übergreifenden Aussagen, die im Fließtext versteckt sind und mit traditionellen Methoden lokalisiert wurden, zusammenführen und richtig interpretieren. Welche Gen-Mutationen werden beschrieben, welche Aussagen abschließend getroffen? Derzeit sind die Forschenden noch bei den Vorverarbeitungsschritten, das Anlernen der KI ist für einen späteren Zeitpunkt im Projekt geplant. Auch wenn es sich um Künstliche Intelligenz handelt, steckt in diesem Schritt viel Arbeit: Schließlich müssen die Trainingsdaten von Hand aufgebaut werden. Geppert erläutert: »Wir müssen der KI beispielsweise mitteilen, in welchen Sätzen sie hätte herausfinden müssen, dass eine positive oder negative Aussage zu einer bestimmten Gen-Mutation vorliegt oder auch gar keine.«

Das Ergebnis wird für August 2025 erwartet: eine Softwarekomponente, die bei den Krebsregistern in deren eigene IT-Infrastruktur eingebettet werden kann. Sie soll automatisch erkennen, bei welchen Berichten es sich um molekularpathologische Ergebnisse handelt, anschließend die Aussagen über die Gene und deren Mutationen komprimieren, den Dokumentaren in den Krebsregistern die entsprechenden Stellen markieren und das Ergebnis des Berichts zusammenfassen. All dies soll automatisch ablaufen – und den Dokumentaren eine große Arbeitersparnis bescheren. Die endgültige Beurteilung der KI-Ergebnisse sowie die Aufgabe, eine gesicherte Basis zur Entwicklung neuer Therapieansätze zu erstellen, liegen jedoch nach wie vor dort, wo sie hingehören: in Menschenhand. ■



# Date mit der Forschung

Ein neues Tor zur Welt des Wissens: Über die Fraunhofer Match Plattform können Unternehmen und Organisationen jetzt ganz einfach einen passenden Projektpartner finden.

Von Beate Strobel

**M**ehr als 20 000 Forschende an 76 Fraunhofer-Instituten mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und Angeboten: Für Unternehmen gibt es nun eine neue Option, um unkompliziert mit der Forschungsgesellschaft in Kontakt zu treten und viele Fraunhofer-Mitarbeitende über nur einen Kanal zu erreichen. Das kostenfreie Portal Fraunhofer Match sucht im Kundenauftrag nach geeigneten Experten und Expertinnen bei Fraunhofer.

Idee hinter Fraunhofer Match ist, dass Unternehmen ihre Herausforderung oder ihr Forschungsanliegen über das Portal [www.match.fraunhofer.de](http://www.match.fraunhofer.de) einspeisen. Die Anfrage erreicht dann Forscherinnen und Forscher unterschiedlicher Institute, die erste Lösungsoptionen skizzieren. Diese werden an das Unternehmen zurückgespielt. Ist der Kunde von einem der Ansätze überzeugt, steht einem gemeinsamen Projekt nichts im Weg.

Geplant und entwickelt wurde Fraunhofer Match über einen Zeitraum von zwei Jahren unter Leitung von Dr. Marie-Luise Fuchs in der Fraunhofer-Abteilung Digitaler Technologietransfer. Möglich wurde das Projekt aber nur durch die Mitarbeit vieler Institute, betont Projektleiter Dr. Carl Heinze – und durch den intensiven Austausch mit Pilotkunden. Die Prozesse so auszugestalten, dass die Matches schnell und einfach funktionieren, war eine der großen Herausforderungen. »Die Vielfalt der Institute und das breite Forschungsangebot ist eine große Stärke von Fraunhofer«, erklärt Heinze. »Die Plattform ermöglicht es auch, institutsübergreifende Kooperationen zu bilden und Synergien zu nutzen im Sinne der Auftraggeber.«

Das vierköpfige Entwicklungsteam von Fraunhofer Match hatte sich für das Lean-Start-up-Prinzip entschieden, bei dem ein stark vereinfachter Plattform-Prototyp im Life-Modus anhand des Feedbacks von Kunden- wie von Forschungsseite modifiziert und feingeschliffen wird,

sodass Kundenbedürfnissen bestmöglich Rechnung getragen werden kann. 2023 wurden bislang gut 70 Kundenanfragen bearbeitet; auch erste Projektabschlüsse konnten bereits verbucht werden. Viele der eingereichten Fragen befassen sich mit Themen wie autonomes Fahren, Energie und nachhaltige Produktion. Mit Fraunhofer Match befindet man sich »im Maschinenraum der R&D-Abteilungen der Unternehmen«, betont Carl Heinze; Fraunhofer könne so die Forschungsfelder künftig noch effizienter auf deren Bedürfnisse ausrichten.



## Der Schutz sensibler Unternehmensdaten ist gesichert:

Alle Kundenanfragen sowie die von Fraunhofer erarbeiteten Lösungsvorschläge sind automatisch als vertraulich gekennzeichnet; die Nutzungsbedingungen von Fraunhofer Match entsprechen dem Schutzgrad einer Geheimhaltungsvereinbarung (NDA). Die Daten verlassen die Fraunhofer Cloud nicht, die regelmäßig vom Fraunhofer-Institut für Angewandte und integrierte Sicherheit AISEC hinsichtlich Cyber-Security geprüft wird.

Künftig soll eine Künstliche Intelligenz (KI) die Effizienz der Plattform weiter erhöhen, indem sie bei der Klassifizierung der Kundenanfragen unterstützt, sodass die Experten und Expertinnen auf Fraunhofer-Seite immer besser identifiziert werden können. Und sich eines Tages womöglich alle paar Minuten ein Unternehmen nachhaltig in ein Forschungsteam verliebt. ■



Mehr Infos  
zu Fraunhofer  
Match



# Hüter des Mikroben-Schatztes

In einer der weltweit größten Sammlungen von Bakterien und Pilzen fahnden Fraunhofer-Forschende nach Naturstoffen zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten bei Mensch, Tier und Pflanze.

Von Beate Strobel





**N**icht alle Schätze dieser Welt liegen in Museumsvitrinen, in Banksafes oder in Schiffswracks auf dem Meeresgrund. Ein Schatz lagert im Keller des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen. Gekühlt in flüssigem Stickstoff, warten dort 120 000 Mikroorganismen in Tanks auf ihre Erweckung – und auf die Hebung ihres Potenzials. Und das kann gerade im Klimawandel ganz besondere Bedeutung bekommen.

**120 000 Mikroorganismen** – und doch passt die Stammsammlung des Zentrums für Naturstoffforschung am Fraunhofer IME in einen gut 100 Quadratmeter großen Kellerraum. »Die Stämme sind in mehr als 650 000 sogenannten Cryo Vials gesichert – Röhrchen, die gerade mal so groß sind wie ein kleiner Finger und deren durchgängige Kühlung bei minus 196 Grad Celsius zwar aufwendig, aber dafür sehr sicher ist«, berichtet der Biologe Prof. Till Schäberle. Als Leiter der Abteilung Naturstoffforschung am Fraunhofer IME ist er so etwas wie der Hüter der Stammsammlung, die er tatsächlich als einen Schatz begreift.

Angehäuft wurde dieser bereits vor vielen Jahrzehnten und an anderer Stelle: Der Grundstock wurde in den 1940er-Jahren gelegt, als Forschende Kulturen von Mikroorganismen zusammentrugen und wissenschaftlich katalogisierten – nur zwölf Jahre, nachdem der britische Mediziner und Bakteriologe Alexander Fleming in einem über die Sommerferien verschimmelten Präparat die antibakterielle Wirkung des Pilzes *Penicillium notatum* erkannte. Mit der Entdeckung des bis heute wichtigen Antibiotikums Penicillin kam Goldgräberstimmung im Bereich der Naturstoffforschung auf: Wer findet das nächste Antibiotikum, wer besiegt die nächste große Infektionskrankheit?

Im Kampf der Medizin gegen verschiedenste Krankheiten sind Mikroorganismen und deren natürlich entwickelten Überlebensstrategien unverzichtbare Leistungsträger. Denn egal, ob in der Erde, auf dem Meeresboden, in Pflanzen, Tieren oder Menschen: Überall leben Mikroorganismen in sogenannten Mikrobiomen zusammen. Die von

den winzigen Organismen produzierten Naturstoffe strukturieren das Miteinander im Mikrobiom, dienen als Kommunikationsmittel, als Warnung vor Eindringlingen oder auch zur Verteidigung gegen andere Mikroorganismen. Die Medizin macht sich diese Substanzen zunutze und setzt eine Vielzahl bereits in der Therapie ein: Gut 35 Prozent aller zugelassenen Medikamente und 80 Prozent der Antibiotika-Klassen lassen sich auf Naturstoffe zurückführen.

Das Verhältnis zwischen Krankheitserregern und pharmazeutischer Forschung gleicht allerdings einem langfristigen Wettrennen verfeindeter Staaten: Die Wehrhaftigkeit muss kontinuierlich nachgebessert werden. Konfrontiert mit immer neuen Antibiotika und Antimykotika, entwickeln Pilze und Bakterien zuverlässig Resistenzen gegen bestehende Wirkstoffe. Im Gegenzug muss die Forschung immer andere Wege finden, um zumindest die häufigsten Infektionskrankheiten weiterhin effektiv therapieren zu können. Durch Viren, Bakterien, Parasiten oder

Pilze ausgelöste Krankheiten zählen weltweit zu den häufigsten Todesursachen; die zunehmende Ausbreitung multiresistenter Keime gilt als eine der größten globalen Gesundheitsbedrohungen.

**80 %**  
der Antibiotika-Klassen  
lassen sich  
auf Naturstoffe  
zurückführen

**Mikroben können krank machen und sogar töten** – doch zugleich liefern sie auch neue Optionen zur Bekämpfung von ihresgleichen. Die Chancen, diese immer weiter auszuloten, stehen aktuell wieder besser: Dank neuer

Techniken wie der Genomsequenzierung gibt es frische Ansätze, um Lieferanten von wertvollen Naturstoffen zu identifizieren oder neue Wirkstoffe zu entwickeln. Fraunhofer-Experte Schäberle spricht bereits von einer »Renaissance der Naturstoffe«.

2014 startete das Pharmaunternehmen Sanofi, damals Besitzer der Stammsammlung, eine Partnerschaft mit dem Fraunhofer IME: Im neu entstandenen Exzellenzzentrum für Naturstoffforschung des IME forschte man zunächst gemeinsam damit. 2020 wurde dann die Sanofi-Sammlung – eine der weltweit größten industriellen Bakterien- und Pilzsammlungen – endgültig an das Fraunhofer-Institut übergeben. Till ▶

Warten auf den Einsatz: Gekühlt in flüssigem Stickstoff lassen sich Mikroorganismen jahrzehntelang aufbewahren.



Foto: luchschen/F/AdobeStock

»Der Naturstoff Darobactin gibt Hoffnung, zukünftig Infektionen mit multiresistenten Krankenhauskeimen besser behandeln zu können.«

Prof. Till Schäberle,  
Fraunhofer IME



Schäberle und sein Team digitalisieren und durchforsten diese seither. Unter anderem waren die Forscherinnen und Forscher an der Entwicklung und Optimierung von Darobactin beteiligt. Dieser neue Naturstoff ist in der Lage, spezifisch gramnegative Bakterien anzugreifen – also sehr wehrhafte Mikroorganismen mit einer extrem undurchlässigen Schutzhülle. Schäberle: »Die Besonderheit von Darobactin ist dessen Wirkmechanismus, der sich von allen derzeit in der klinischen Anwendung befindlichen Antibiotika unterscheidet. Das gibt Hoffnung, zukünftig Infektionen mit multiresistenten Krankenhauskeimen besser behandeln zu können.«

**Mit der Übernahme der Sammlung** hat die gemeinnützige Fraunhofer-Gesellschaft den Auftrag angenommen, sie der Allgemeinheit zunutze zu machen. Deshalb werden seither Forschungskollaborationen mit verschiedenen privatwirtschaftlichen, gemeinnützigen und öffentlichen Akteuren geschlossen. Schäberle erweitert dabei kontinuierlich das Forschungsfeld über die Suche nach Antibiotika und anderen humanmedizinischen Wirkstoffen hinaus. In einer Kooperation mit Boehringer Ingelheim Tiergesundheit etwa fahnden die Forschenden des Fraunhofer IME nach neuartigen Naturstoffen zur Bekämpfung von Tierparasiten wie Flöhen, Zecken und Würmern.

Doch auch die Bioökonomie soll von der Schatzkiste profitieren. Im Projekt MbioShrimp – gefördert durch das BMBF – sucht das Team in den Datenbanken nach Naturstoffen, mit deren Hilfe die unter Aquafarmern berüchtigte »post mortem«-Melanose bei Garnelen verhindert werden könnte, also die Schwarzfärbung der Krustentiere aufgrund enzymatischer Prozesse nach dem Tod. Auch wenn diese Verfärbung für den Konsumenten unbedenklich ist, können die betroffenen Garnelen in der Regel nicht mehr verkauft werden, weshalb die Produzenten derzeit die Melanose mit chemischen Lebensmittelzusatzstoffen zu verhindern suchen. »Wir suchen nach einem natürlichen Inhibitor gegen eines der Enzyme,

die ursächlich an der Schwarzfärbung beteiligt sind«, erklärt Schäberle.

Bei Fraunhofer ist außerdem ein Umfeld entstanden, in dem nun auch nach Wirkstoffen gegen sogenannte vernachlässigte Krankheiten gesucht werden kann, also solche, für die der finanzielle Anreiz für Unternehmen zu gering ist. Zusammen mit Kollegen der Justus-Liebig-Universität Gießen wird beispielsweise nach Resistenz-brechenden Substanzen zur Behandlung von Parasiten wie Pärchen- und Leberegel gesucht.

**Auch im Agrarbereich** sehen die Naturstoff-Detektive des Fraunhofer IME neue Chancen. Etwa bei der Suche nach einem mikrobiell produzierten Schutz- oder Bekämpfungsmittel gegen die von Farmern gefürchtete Blattdürre: Die vom Pilz *Septoria tritici* verursachte Pflanzenkrankheit befällt Getreidepflanzen und kann die Ernte um

bis zu 30 Prozent verringern. Einer von Till Schäberles aktuellen »Lieblingsgegnern« ist allerdings das Feuerbakterium (*Xylella fastidiosa*). Der von saugenden Insekten übertragene Erreger kann mehr als 600 Pflanzenarten befallen, darunter Weinreben, Olivenbäume, Kirsch-, Pfirsich- und Mandelbäume, aber auch Waldbäume wie Ahorn, Eiche oder Ulme. Das Bakterium verstopft die Transportbahnen für Wasser und Nährstoffe und führt so durch Austrocknung zum Absterben der infizierten Pflanze. »Anders als etwa in Lateinamerika und Südeuro-

pa ist das Bakterium in Deutschland noch kein echtes Problem. Doch der Klimawandel könnte eine Ausbreitung in bislang zu kühlen Regionen bald begünstigen«, fürchtet Schäberle. Aktuell existieren keine Mittel und Wege, um das Bakterium zu bekämpfen. Die Naturstoffforschenden des Fraunhofer IME haben aber in der Sammlung bereits Stämme detektiert, die womöglich einen Wirkstoff gegen *Xylella fastidiosa* produzieren können. So sind Schäberle und sein Team überzeugt, dass noch mehr mikrobielle Schätze im Keller der Fraunhofer IME im flüssigen Stickstoff auf ihren Einsatz warten – für Mensch, Tier und Pflanze. ■

Wer findet  
das nächste  
Antibiotikum,  
wer besiegt  
die nächste  
große  
Infektions-  
krankheit?



# Von der Socke zur Sicherheit

Immer mehr Menschen in Deutschland nähern sich dem Rentenalter. Forschung kann helfen, den 12,9 Millionen Rentnern im Jahr 2036 das Leben lebenswert zu erhalten.

Von Manuel Montefalcone

**M**anchmal entwickeln sich sehr persönliche Schwächen zu einer echten Stärke. »Die Idee zu OMNICONNECT«, verrät Projektleiter Dr.-Ing. Christian Tschoban, »kam dem Projektkoordinator, weil er ständig seine Socken verlegt hat.« Künftig sollen die verlorenen Socken Senioren helfen, sich möglichst lange und gefahrlos selbstständig bewegen zu können.

Bis 2036 werden 12,9 Millionen Menschen das Renteneintrittsalter überschritten haben und zunehmend hilfsbedürftig werden. Gleichzeitig müssten bis dahin nach Berechnungen der »Initiative für eine nachhaltige und generationengerechte Pflege« 132 000 Pflegekräfte zusätzlich gewonnen werden. Die Lücke zwischen Pflegebedürftigen und Pflegenden wird noch größer, weil sich auch in der Pflege die Babyboomer in die Rente verabschieden. Bundesweit müssten bis zum Jahr 2035 mehr als 250 000 Stellen aus Altersgründen nachbesetzt werden. Technik kann helfen, die Lücken zu schließen – etwa mit dem Projekt OMNICONNECT. Forschende des

Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin haben das smarte Assistenzsystem entwickelt. Vier Module, unauffällig in einer LED-Deckenlampe untergebracht, erreichen die lückenlose 360°-Detektion eines Raumes. Künstliche Intelligenz und Algorithmen erlernen die Bewegungsprofile der Bewohnerinnen und Bewohner und erkennen bis zu 30 Personen sowie Objekte auf bis zu 150 Quadratmetern Fläche. Einmalig müssen passive Empfänger in die Kleidung der

»Die soziale Teilhabe sinkt im Alter. Wir steigern sie wieder und senken die Einsamkeit.«

Simon Scherr, Fraunhofer IESE

Personen integriert werden, zum Beispiel durch Einnähen oder Aufbügeln. Ihr Vorteil: »Sie funktionieren ganz ohne Batterien. Lästiges Auswechseln bleibt einem erspart.« An allen möglichen Gegenständen können

die nur fünf mal ein Zentimeter kleinen und flexiblen Tags befestigt werden. Das Radarsystem kann so Gefahrensituationen erkennen, aber auch dabei helfen, vermeintlich verloren gegangene Gegenstände – wie eben Socken – wiederzufinden. Die Betreuung sturzgefährdeter, demenzkranker oder auf andere Weise pflegebedürftiger Menschen wird dadurch erleichtert. Der vollständig am Fraunhofer IZM gefertigte Demonstrator erreichte in den abschließenden Tests eine zuverlässige Detektion von Positionsdaten auf fünf Zentimeter genau.

**Das Wohl der Ältesten** liegt auch den Forschenden am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern am Herzen. Bei dem Projekt »Digitale Nachbarn« leistet das Team von Projektleiter Simon Scherr einen wichtigen Beitrag gegen die Vereinsamung. In Seniorenwohnungen werden digitale Sprachassistenten installiert, die über Bildschirm, Mikrofon und Lautsprecher verfügen. Die Geräte können einfach angesprochen werden und liefern dann Nachrichten, Erinnerungen, Wettervorhersagen und Busverbindungen. Während der zweijährigen Projektlaufzeit stimmten die Forschenden die Inhalte laufend auf die Älteren ab. »Die soziale Teilhabe sinkt im Alter«, erklärt Simon Scherr, »wir steigern sie wieder und senken die Einsamkeit.« Die Idee funktioniert dank der einfachen Interaktion über das gesprochene Wort. »Anfangs hatten viele der Projektteilnehmerinnen und -teilnehmer nicht einmal einen Internetanschluss. Am Ende wollten auch die Technik-Skeptiker das Gerät gar nicht mehr abgeben«, schmunzelt Scherr. Letztlich wurden digitale Nachbarn, mit denen tagtäglich videotelefoniert wurde, zu realen Nachbarn – und beinahe echten Freunden. ■

Die Fraunhofer-Erfindung OMNICONNECT hilft Senioren bei verlorenen Socken – und informiert die Rettungskräfte bei Stürzen.



Gruß aus dem All: Mithilfe der Expertise des Fraunhofer EZRT hat der Künstler Nick Veasey alte Raumanzüge geröntgt und aus den Fotos Kunst geschaffen. Statt lebender Menschen arbeitet Veasey stets mit Skeletten.





## Foto & Fraunhofer

# Innere Werte für den Außeneinsatz

Hightech als Berufskleidung: Was sich im Inneren eines Astronauten-Overalls verbirgt, haben Forschende vom Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Fürth sichtbar gemacht. In Kooperation mit dem britischen Künstler Nick Veasey und dem Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum in Feucht scannten sie einen US-amerikanischen Mark-IV-Druckanzug aus den 1950er-Jahren sowie zwei sowjetische Raumanzüge vom Typ Berkut und Sokol-K. Mit dem Berkut wagte Kosmonaut Alexei Leonov 1965 als erster Mensch den Weltraumspaziergang; der Mark IV inspirierte die Raumanzüge, die bei den Flügen des Mercury-Programms (1958–1963) verwendet wurden.

Die Aufnahmen aus dem RoboCT – von Fraunhofer entwickelt für computertomografische Untersuchungen von Auto- und Flugzeugteilen – offenbaren das komplexe Innenleben der Anzüge mit diversen Kabel- und Schlauchverbindungen, Sensoren und Drähten: Technologie, die den Menschen beim Außeneinsatz im All gegen UV-

Strahlung, Mikrometeoriteneinschlag und die extremen Temperaturen schützt sowie mit Sauerstoff versorgt.

Nick Veasey hat die beim Fraunhofer EZRT entstandenen Scans nachbearbeitet und zu Kunstwerken veredelt, die künftig den Besuchern des Museums den Durchblick in Sachen Astronauten-Mode verschaffen sollen. Für den gelernten Fotografen ist dies nicht die erste Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer EZRT: Die Wissenschaftler haben für ihn bereits einen Ferrari in dem weltweit größten Computertomographen durchleuchtet. Und auch da bewiesen: Das Wesentliche ist nicht die Fassade, sondern das, was darunter liegt.

---

### Hier geht's zum Podcast:

Prof. Tomas Sauer vom Fraunhofer EZRT über geröntgte Kulturgüter in der aktuellen Ausstellung »Der Blick ins Innere« am Fraunhofer IIS in Erlangen.



# Das Polly-Projekt

Kein Zutritt für fremde Tiere: Am Fraunhofer IDMT entwickelt ein Team aus zwei Zweibeinern und einem Vierbeiner eine intelligente Katzenklappe.

Von Beate Strobel

**L**öwe oder Wildschwein? Als ganz Deutschland im Juli 2023 darüber rätselte, ob tatsächlich eine Großkatze durch Kleinmachnow streift, präsentierte das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in einem LinkedIn-Post augenzwinkernd eine neue Technologie als Lösung für das nächste tierische Sommerloch: Die am Institut entwickelte Gesichtserkennungssoftware für Katzenklappen könne zumindest verhindern, dass Löwe oder Wildschwein im Wohnzimmer stehen.

## Die KI erkennt, wer tierische »Geschenke« bringt

Die Idee nicht nur zum scherzhaften Post, sondern auch zur smarten Katzenklappe hatte Mareike Helbig, Katzenbesitzerin und Teil des Kommunikationsteams des Fraunhofer IDMT. Denn einerseits wollte sie ihrer Katze Polly die Möglichkeit zum Freigang geben, andererseits hatte sie weder Lust, dem Vierbeiner laufend die Tür zu öffnen, noch freute sie sich über fremden Katzenbesuch sowie die tierischen »Geschenke«, die Polly ihr als gute Jägerin immer wieder ins Haus schleppte. Die marktüblichen Katzenklappen waren für die Ilmenauerin keine Lösung; sie wollte Polly nicht chippen lassen oder mit einem Halsband samt Magnet zur Erkennung belasten. Zumal die Katze damit auch wei-



Für die Katz: Mareike Helbig (mit Polly) hatte die Idee zur Klappe 2.0.

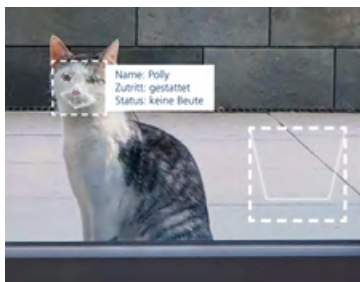
terhin hätte erlegte Mäuse oder Vögel ins Haus tragen können.

In den Projekten SAISBECO und Face-Edutain hatte Dr.-Ing. Alexander Loos, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IDMT, bereits an der Entwicklung einer Arten- und Individuen-Erkennungssoftware mitgewirkt; dank dieser Technologie konnten etwa Besucher des Leipziger Zoos gezielt Informationen zu einzelnen Schimpansen abrufen, da die Technologie die einzelnen Tiere klar voneinander unterscheidet. Auch für Grizzlybären gab es

bereits eine Algorithmus-Variante. »Wenn so etwas für Affen und Bären funktioniert, warum dann nicht für Katzen?«, fragte sich Mareike Helbig. Und rief damit das Projekt Polly – offiziell: SIMSALA CAT – ins Leben.

Für Helbigs Idee einer smarten Katzenklappe trainierte Loos die Künstliche Intelligenz mit gut 43 000 Fotos von rund 8000 Katzen, bis der Algorithmus gelernt hatte, worauf er bei einem Katzengesicht zu achten hatte. Was gar nicht so einfach ist, denn Katzengesichter sehen – von der Fellfärbung mal abgesehen – auf den ersten Blick alle sehr ähnlich aus. Doch die KI konnte schließlich einwandfrei das vierbeinige Mitglied des Projektteams – Katze Polly – selbst von ähnlich gefärbten Nachbarkatzen unterscheiden. Hatte Polly jedoch eine Beute im Maul, verweigerte der smarte Türsteher auch ihr den Zutritt: »Genau das, was ich mir von einer klugen Katzenklappe erwarte«, freut sich Mareike Helbig.

Da der humorvolle LinkedIn-Post der Katzen-KI – gestartet als internes Projekt – viel mediale Aufmerksamkeit eingebracht hatte, ist nun eine Kooperation mit einem Unternehmen aus der Schweiz gestartet. Eine smarte Katzenklappe mit Beuteerkennung ist bereits ab Anfang 2024 im Handel erhältlich, eine Folgeversionen wird auch die Erkennung der eigenen Katze beherrschen. Maus, Wildschwein, Löwe & Co? Müssen dann leider draußen bleiben. ■

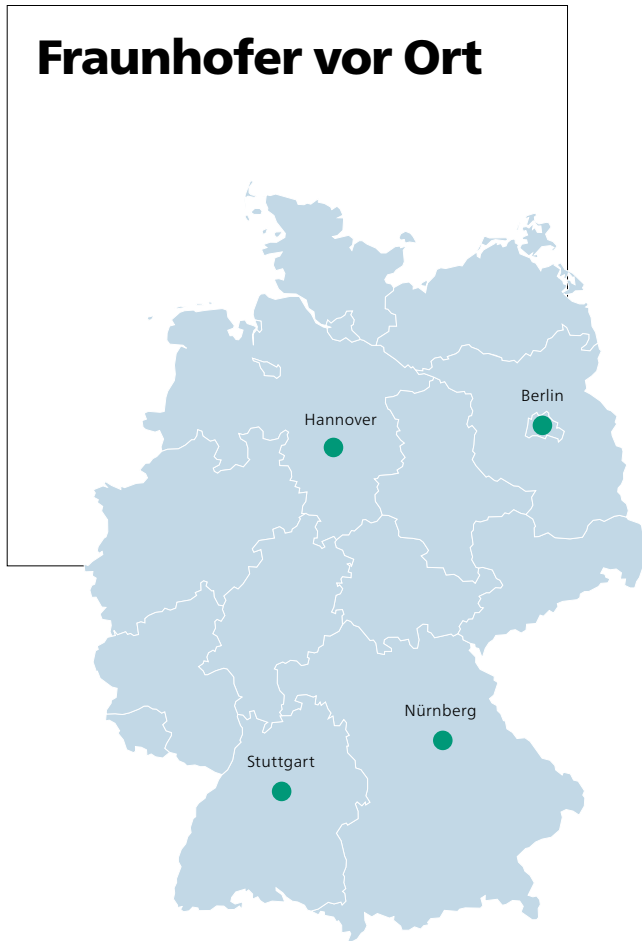


»Wenn so etwas für Affen und Bären funktioniert, warum dann nicht für Katzen?«

Mareike Helbig,  
Fraunhofer IDMT



## Fraunhofer vor Ort



- 
**Berlin**  
**05.–06. März 2024**  
**TRANSFORM**  
 (ehemalige HUB Berlin)  
 Plattform für die digitale Transformation von Unternehmen
- 
**Nürnberg**  
**09.–11. April 2024**  
**Embedded World**  
 Internationale Messe für eingebettete Systeme – von Hardware über Software bis hin zu Dienstleistungen und Tools
- 
**Berlin**  
**09.–11. April 2024**  
**DMEA**  
 Fachmesse und Kongress für die digitale Gesundheitsversorgung
- 
**Hannover**  
**22.–26. April 2024**  
**Hannover Messe**  
 Weltleitmesse der Industrie. Hochtechnologie und innovative Lösungen zur Bewältigung der globalen industriellen Herausforderungen
- 
**Stuttgart**  
**23.–26. April 2024**  
**Control**  
 Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

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



## Tauchen ohne einen Tropfen Wasser

Für die PFAS-Fotografie hat Jan von Holleben die Fraunhofer-Forschenden ins Meer gesteckt, ohne sie nass zu machen. Seit 20 Jahren arrangiert der Fotograf seine Szenen auf dem Fußboden und verschafft ihnen so verblüffende Schwerelosigkeit. Sein erstes Boden-Bild hat er vom Dach eines VW-Busses gemacht. Seitdem steigt er auf seine Erfolgs-Leiter. Bevorzugte Arbeitshöhe: 3,50 Meter.

