

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten



**Kollege
Roboter**
Die Chance
für unsere
Wirtschaft

Die Energie der Sonne

Kernfusion: Eine Vision,
viele Fragezeichen –
Fraunhofer-Antworten
fürs Hier und Jetzt

Dr. Jan Engels,
Fraunhofer IAF

Hormus und die Folgen
Fraunhofer-Forschung für
eine sichere Versorgung

KI im Trennungsstress
Vergessen lernen: So sichern
Unternehmen ihre Daten



Fraunhofer
ALUMNI

9. Fraunhofer Alumni Summit 2026

**Simulation trifft Software:
Effizienz steigern, Innovation gestalten**

In Zusammenarbeit mit Fraunhofer IESE & ITWM
Freitag, 13. November 2026, Kaiserslautern



**Exklusive Stadtführung
»750 Jahre Kaiserslautern«**

Nehmen wir die Alarmrufe als Weckrufe

Von Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Deutschlands Wirtschaft hat Tradition. Das älteste noch existierende Familienunternehmen? Gegründet wurde es anno 1502 als Stahlschmiedebetrieb. Ein Firmensitz ist bis heute die Stadt Siegen in Nordrhein-Westfalen. Es hat die Napoleonischen Kriege überstanden, zwei Weltkriege, Wirtschaftskrisen. Heute, in der inzwischen 17. Familiengeneration, trägt es den internationalen Namen »The Coatinc Company« und schützt Metalle durch Verzinken und Beschichten vor Rost. Solche Geschichten aus der Geschichte der deutschen Wirtschaft beeindrucken. Sie zeugen von Resilienz und Widerstandskraft in der Vergangenheit. Aber wie steht es heute, im Jahr 2026?

Die Gegenwart wirkt düster. Die großen deutschen Autobauer haben im ersten Halbjahr 2026 sechs Prozent Fahrzeuge weniger ausgeliefert als im Vorjahreszeitraum. Es ist, hat das »Handelsblatt« ausgerechnet, der niedrigste gemeinsame Absatzwert seit 2022. Auch über die für unsere Wirtschaft so entscheidende Autobranche hinaus häufen sich die Alarmrufe. Nach einer Studie des Instituts der Deutschen Wirtschaft hat Deutschland in den vergangenen sechs Jahren kaum noch eine Steigerung der Produktivität erreichen können. Dabei gilt der Produktivitätsfortschritt Fachleuten als zentraler Motor unseres Wohlstands. Zeit für Depression? Das kann nicht die Lösung sein.

Nehmen wir die Alarmrufe als Weckrufe. Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit braucht Innovation. Kluge Köpfe sind der Rohstoff unseres Landes. Doch darf für sie die Labortür nicht zur Sackgasse werden. Wenn wir unseren Wohlstand auf Dauer sichern wollen, dann genügt es eben nicht, nur exzellent zu forschen. Wir müssen wissenschaftliche Erkenntnisse schneller, viel schneller in industrielle Wertschöpfung überführen. Deshalb fordern wir von Fraunhofer in einem gemeinsamen Positionspapier mit dem Bundesverband der Deutschen Industrie, die im Koalitionsvertrag festgelegte Innovationsfreiheitsoffensive zügig umzusetzen. Industrie und Wissenschaft brauchen

Editorial



Prof. Dr.-Ing.
Holger Hanselka

ein Mehr an Freiräumen, um das »Valley of Death« zwischen Forschungserfolg und industrieller Skalierung zu überwinden. Wirtschaftlicher Erfolg, das ist unsere Überzeugung, gelingt nur im Schulterschluss, wenn Wissenschaft, wenn Industrie und wenn Politik ihre Kräfte bündeln, um Forschung in die Anwendung zu bringen.

Angewandte Forschung ist, die Leser wissen und schätzen das, Inhalt auch dieses »Fraunhofer-Magazins«. Besonders aufmerksam machen möchte ich Sie auf zwei große Themen in diesem Magazin. Wir haben wahrscheinlich alle die tanzenden und turnenden Roboter aus China bestaunt. Wie sich jenseits solcher Showprogramme in der Robotik Chancen für die deutsche Fertigungsindustrie auftun, beschreibt der Beitrag »Die neuen Kollegen« von Seite 38 an. Die Titelgeschichte »Griff nach den Sternen« zeigt, dass Kernfusion mehr ist als eine Zukunftsvision. Fraunhofer-Forschende holen die Vision in die Realität – und das mit sehr praktischen Lösungen für die Welt von heute. Damit unsere deutsche Wirtschaft eben nicht nur eine große Vergangenheit und Tradition hat. Wir bei Fraunhofer leisten mit angewandter Forschung unseren Beitrag für die Zukunft, für eine große Zukunft.

Ihr

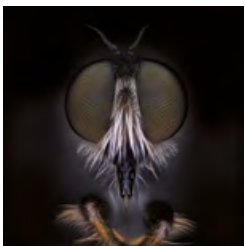
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt



38 Humanoide Robotik Unterstützung ist auf dem Weg

Humanoide Roboter werden bei der Arbeit nie müde oder krank. Doch für den Dauereinsatz fehlt ihnen leistungsfähige Hardware.



58 Macht die Fliege

Chitosan aus Insektenhäuten ist eine umweltfreundliche Alternative zu erdölbasiertem Plastik.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

26 Aus Forschung wird
Wirtschaftskraft

Seit 25 Jahren begleitet Fraunhofer Venture Jungunternehmer, die mit Fraunhofer-Technologien die Welt verändern wollen

28 Reststoff? Ressource!

Was führt Deutschland aus der Düngemittel-Abhängigkeit? Vier Projekte liefern neue Ansätze



10 Zukunftsenergie Wir bauen uns eine Sonne

Kernfusion als saubere Energiequelle nutzen: Dafür entwickelt Dr. Astrid Bingel am Fraunhofer IOF optische Komponenten.

10 Griff nach den Sternen

Fraunhofer-Forschende arbeiten an den Bausteinen des ersten Fusionsreaktors – und die Industrie profitiert schon heute davon

24 Mit EDENenergy ins zweite Leben

Mehr rausholen: Ein Fraunhofer-Start-up nutzt Akkus von E-Bikes und Scootern als Industriespeicher

54 Besser geschützt im Brandfall

PV auf dem Dach, Batteriespeicher im Keller? Das kann gefährlich werden, wenn es brennt. Ein neues Sensorsystem bringt mehr Sicherheit

32 Den Krisen einen Schritt voraus

Ein Forschungsteam nutzt die Lehren aus der Flutkatastrophe im Ahrtal, um die Resilienz von Behörden und Organisationen zu steigern

35 Wenn Pilze zu Baustoffen werden

In Dortmund entstehen Dämmplatten und Schallabsorber aus Myzelmaterial

38 Die neuen Kollegen

Leistungsfähige Hardware für humanoide Roboter: Eine große Chance für die deutsche Fertigungsindustrie

46 Smarter Schwarm

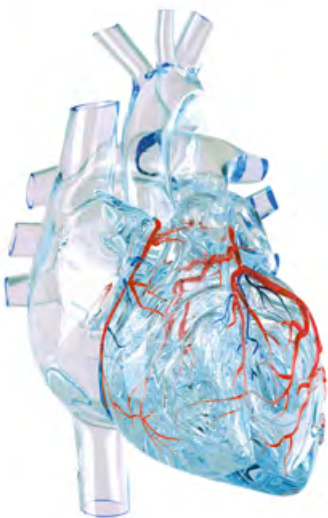
Im Team noch leistungsfähiger: Neue Wege für die Kommunikation im Drohnen-Netzwerk

48 Runter vom Flickenteppich

Digitale Verwaltung: Wie können KI und Automatisierung zur Entbürokratisierung beitragen?

62 Herzenssache

Neuartige Stents sollen dem Herzmuskel besser auf die Sprünge helfen.



76 Ein Prosit der Sicherheit

Wie Drohnen als intelligente Beobachter Massenveranstaltungen wie das Oktoberfest schützen.

50 Den Ex aus dem Kopf

Wenn Projektpartnerschaften zerbrechen, ist »förderiertes Unlearning« gefragt

52 Rakete aus dem Printer

Schneller ins All: Mit additiver Fertigung lassen sich Bauteile leichter und günstiger herstellen

56 Mit Viagra Leben retten

Am Fraunhofer ITMP identifizieren Forschende Wirkstoffe für Seltene Erkrankungen

58 Nachhaltig verpackt

Insektenhäute und andere Reststoffe als ökologische Alternative zur Kunststoffolie

60 Der Feind im Videostream

Eine Fraunhofer-Software erkennt Videofakes in Echtzeit

62 Hilfe fürs Herz

Speziell beschichtete und sich auflösende Stents senken das Thrombose-Risiko



56 Viagra für die Kleinsten

Ein bekannter Wirkstoff soll Kindern mit einer seltenen Stoffwechselerkrankung helfen.

64 Exzellente Forschung 2026

Ausgezeichnete wissenschaftliche Leistungen der Fraunhofer-Mitarbeitenden

72 Foto & Fraunhofer

Wenn die Flüsse künftig weniger Wasser führen, müssen Schiffe leichter werden

74 Fraunhofer international**76 Fliegende Augen und Ohren**

Smarte Frühwarnsysteme für mehr Sicherheit auf Großveranstaltungen

79 Aus Vision wird Zukunft

Angewandte Forschung: Mit einem Open-Source-System gegen Cyberangriffe

58 % der Europäer stehen der Kernfusion positiv gegenüber und sehen die Technologie als künftige Energiequelle. Die Befragung von 19 144 Personen im Rahmen des Forschungsprojekts EUROfusion zeigt auch: Durch sachliche Informationen zum Thema steigt die Zustimmung noch einmal deutlich.

58 %

Kurz gemeldet

Laufschuhe sollten nach etwa 500 bis 800 Kilometern ersetzt werden.



Sneaker einfacher recyceln

Hochwertige Sportschuhe sind meist aufwendig aus mehreren Materialien zusammengesetzt – mit negativen Folgen für Produktion und Recycling. Fraunhofer-Forschende zeigen im Projekt ZiProMat, dass es anders geht: Sie haben eine Sohle aus einem einzigen Material entwickelt, das unterschiedliche Funktionszonen miteinander verbindet. So kann der hintere Bereich für den Aufprall der Ferse auf den Boden besonders gut gedämpft werden, während sich der Mittelteil für das Abrollen eher weich und der Vorderfuß etwas fester gestalten lassen. Indem die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Materialstruktur durch eine bestimmte Anordnung von Rippen oder Zacken gestalten, wird das Verhalten des Materials unter Belastung programmierbar. Als Monomaterial-Basis nutzen sie ein thermoplastisches Co-Polyester-Elastomer. Ein Team des Fraunhofer Clusters of Excellence Programmierbare Materialien CPM hat gemeinsam mit dem Sportartikelhersteller Puma die Machbarkeit und die Vorteile der Technologie bereits demonstriert. ■

Haarstyling-Produkte tierversuchsfrei testen



Eine neue Testmethode hilft, Atemwegserkrankungen bei Mitarbeitenden im Friseursalon vorzubeugen.

Friseurinnen und Friseure sind bei ihrer Arbeit chemischen Dämpfen und Aerosolen ausgesetzt, die zu Atemwegsreizungen, Husten oder Kurzatmigkeit führen können. Doch bisher fehlten wissenschaftliche Verfahren, um die gesundheitlichen Auswirkungen der feinen Partikel in der Luft auf

die Atemwege nachzuweisen. Forschende am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM haben eine innovative zellbasierte In-vitro-Inhalationsmethode entwickelt, mithilfe derer sie respiratorische Effekte einschätzen und potenziell schädliche Substanzen identifizieren können. Das tierversuchsfreie Verfahren unterstützt die sichere Produktentwicklung.

Im Auftrag der Industrie untersuchte das Forschungsteam vier Substanzen, die zur dauerhaften Glättung der Haare eingesetzt werden. Die feuchte Chemikalie wurde dabei auf die Echthaarsträhnen aufgetragen und anschließend bei etwa 200 Grad Celsius mit einem Glätteisen über das Haar gezogen, wobei Aerosole freigesetzt werden. Das Forschungsteam wies große Unterschiede beim Ausmaß der Aerosolfreisetzung und der Dosis-Wirkungs-Beziehung nach, die vor allem in der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe begründet waren. Die gesundheitsschädlichen Substanzen können mit der neuen Methode erkannt und zukünftig gezielt durch andere Komponenten ersetzt werden. ■

Müll-Roboter hilft mit schweren Tonnen

Ein KI-gestützter Roboter soll Mitarbeitende der Müllabfuhr bald bei ihrer körperlich anstrengenden Arbeit entlasten. Das Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV arbeitet gemeinsam mit Partnern an einem intelligenten Robotersystem, das Mülltonnen selbstständig aufnimmt, leert und wieder absetzt. Es soll an das Heck von herkömmlichen Müllfahrzeugen montiert werden. Mithilfe von Sensoren kann das System eine digitale 3D-Karte der Fahrzeugumgebung erzeugen. So erkennt es Personen und Hindernisse zuverlässig. Spezielle Algorithmen berechnen in Echtzeit eine sichere Bewegungsbahn des Roboters. Die intelligente Verschaltung von Sensorsystemen sichert die gesamte Applikation ab. Bevor der Roboter zum Einsatz kommt, übt er den Gesamt Ablauf der Bewegung in einer Computersimulation: Dort lernt ein Algorithmus, wie er sich geschickt an Hindernissen vorbei bewegt. Zusätzlich variiert das Projektteam in der Simulation systematisch Parameter wie Gewicht und Aussehen der Mülltonnen, Reibung bei



deren Aufnahme oder Bildrauschen der Kameradaten. »Das macht den Übergang in die Praxis deutlich robuster«, unterstreicht Jannik Möhrle, Projektleiter am Fraunhofer IGCV. ■

In Zukunft soll ein Roboter die Tonnen in die Halterung am Müllwagen heben.

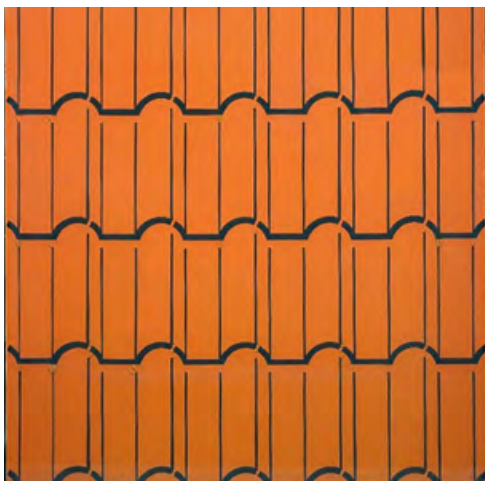
Spülen mit gutem Gewissen



Handspülmittel enthalten wegen ihrer fettlösenden Wirkung besonders viele Tenside.

Tenside bewirken, dass Fett und Schmutz sich lösen, Haarwaschmittel schäumen oder Öl-Wasser-Gemische in Cremes stabile Emulsionen bilden. Weltweit werden pro Jahr mehr als 18 Millionen Tonnen Tenside synthetisiert, die meisten aus fossilen Rohstoffen. Einem Team des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB ist es jetzt gelungen, mikrobielle Biotenside zu entwickeln – vielseitig einsetzbar, biologisch abbaubar und hergestellt aus heimischen nachwachsenden Roh- und Reststoffen. Dr.-Ing. Susanne Zibek, technische Biologin und Ingenieurin, untersuchte gemeinsam

mit ihrer Arbeitsgruppe Vertreter von Glykolipid-Biotensiden, die aus einem Zucker und einem oder mehreren Fettsäureestern bestehen. Sie werden von Mikroorganismen in größeren Mengen gebildet. »Für die Herstellung können wir erneuerbare Substrate wie Zucker oder regional verfügbare Pflanzenöle einsetzen«, so Zibek. Dabei gelang es ihr gemeinsam mit Partnern, die biotechnologische Produktion zu optimieren. Einige mikrobielle Glykolipide zeichnen sich zudem durch antibakterielle, antimykotische und antivirale Eigenschaften aus, was sie für einen Einsatz in Kosmetik oder Pflanzenschutz prädestiniert. ■



Die »ShadeCut«-Technik lässt PV-Module wie Dachziegel aussehen.

Wie PV-Module im Dach verschwinden

Mithilfe einer innovativen Technologie aus dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE lassen sich Solarmodule zukünftig ästhetisch in Gebäude integrieren. Eine speziell strukturierte Folie ermöglicht, komplexe Muster, Bilder und Farben direkt auf die PV-Module zu bringen, ohne deren Effizienz nennenswert zu beeinträchtigen. Die sogenannte »ShadeCut«-Technik kann auf allen gängigen Modulen angewandt werden, das gewünschte Muster wird in die Folien mit MorphoColor®-Beschichtung durch Laser- oder CAD-gesteuerte Prozesse geschnitten.

Dr. Martin Heinrich, Gruppenleiter für Einkapselung und Integration von Photovoltaik am Fraunhofer ISE: »Module mit ShadeCut können wie Mauerwerk oder Dachziegel aussehen und sich farblich perfekt einpassen. Auch eine individuelle Gestaltung von PV-Anlagen zum Beispiel mit Logo-Schriftzug oder Mustern kann man damit umsetzen.«

Die MorphoColor®-Technologie ist vom gleichnamigen Schmetterling inspiriert. Die 3D-photonischen Strukturen auf den Schmetterlingsflügeln erlauben einen intensiven und winkelstabilen Farbeindruck durch einen grundsätzlich verlustarmen Interferenzeffekt. Nach diesem biologischen Vorbild ist es dem Forschungsteam gelungen, eine ähnliche Oberflächenstruktur durch einen Vakuumprozess auf die Rückseite des Deckglases von PV-Modulen aufzubringen. Mittlerweile gelingt den Forschenden dies auch auf Folie. ■

Sicher fliegen

Sind Batterien in Personal Electronic Devices (PED) wie Laptops und Smartphones beschädigt oder überhitzt, können sie in Flammen aufgehen oder sogar explodieren – ein hohes Sicherheitsrisiko, besonders im Flugzeug. Im Projekt LOKI-PED haben Fraunhofer-Forschende gemeinsam mit Airbus erstmalig eine wissenschaftlich fundierte Risikobewertung durchgeführt, die den Einsatz von elektronischen Geräten im Flieger zukünftig sicherer machen soll.

Mit Prüfständen wie dem Batterietestzentrum TEVLIB des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, einem A320-Mock-up für Kabinenfeuertests und dem Fluglabor des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP untersuchte das Team die durch PED verursachten Konsequenzen von Rauch und Feuer. Die Experimente waren die Basis für numerische Simulationen und die anschließende Risikoanalyse. Die Tests umfassten unter anderem die Charakterisierung der Hauptgefahren, die von PED ausgehen, die experimentelle Charakterisierung von Verbrennungsgasen und die Beurteilung von Notfallmaßnahmen. Das Projekt LOKI-PED wurde von der Europäischen Agentur für Flugsicherheit EASA gefördert, die die Ergebnisse der Studie auf ihrer Homepage veröffentlicht hat. ■



Manchmal überhitzen sich Batterien bereits durch das Aufladen.

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:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Meike Grewe, Sirka Henning, Andrea
Kaufmann, Lisa Scherbaum, Kathrin
Schwarze-Reiter, Iris Röhl, Laura
Rottensteiner-Wick, Mehmet Toprak,
Yvonne Weiß, Ulla Wolfshöfer

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Jonas Ratermann/
Fotoassistent: Carsten Bredhauer
Fotografie »Humanoide Robotik«:
Sven Döring

Druck:

Aumüller Druck GmbH & Co. KG

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2026

Fraunhofer in Social Media:

<https://bsky.app/profile/fraunhofer.bsky.social>



www.instagram.com/fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/fraunhofer-gesellschaft



<https://www.wisskomm.social/@fraunhofergesellschaft>



<https://www.threads.com/@fraunhofergesellschaft>



<https://x.com/fraunhofer>



www.youtube.com/fraunhofer



Den Geheimnissen der Wildkatze auf der Spur

Mithilfe einer neuen KI-basierten Software aus dem Fraunhofer IDMT sind Forschende des WWF den Jagdgewohnheiten der scheuen Wildkatze auf die Schliche gekommen. Bald sollen weitere Tiere folgen.

Gemeinsam mit dem World Wildlife Fund (WWF) hat das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Ilmenau die KI-basierte Software Trapscan entwickelt, mit der sich wiederkehrende Bewegungsmuster von Wildtieren an verschiedenen Kamerastandorten erkennen und miteinander verbinden lassen. Seit Januar 2026 ist Trapscan bereits in der Region Mittlere Elbe im Einsatz und soll dort zur Verbesserung des Artenschutzes beitragen. Die Analyse erster Kameradaten ermöglichte schon wichtige Erkenntnisse über das Jagdverhalten der Wildkatze, die in regelmäßigen Abständen ihr Revier wechselt.

Christian Weigel, Projektleiter am Fraunhofer IDMT: »Fotofallen lösen aus, wenn sie eine Bewegung registrieren. Das kann auch ein Grashalm sein, der sich im Wind bewegt. Da die meisten Fotofallen mehrere Monate in abgelegenen Gebieten hängen, nehmen sie so Tausende auszuwertende Videos auf. Bislang mussten die

Aufnahmen zeitaufwendig einzeln geprüft werden. Das übernimmt nun das KI-Tool. Trapscan filtert Tierbewegungen aus dem Material heraus.«

Im zweiten Schritt werden die erfassten Tiere mithilfe eines Open-Source-KI-Modells der Universität Marburg nach Tierarten klassifiziert. Die Ergebnisse werden anschließend zusammengefasst und in einer interaktiven Karte den verschiedenen Kamerastandorten zugeordnet.

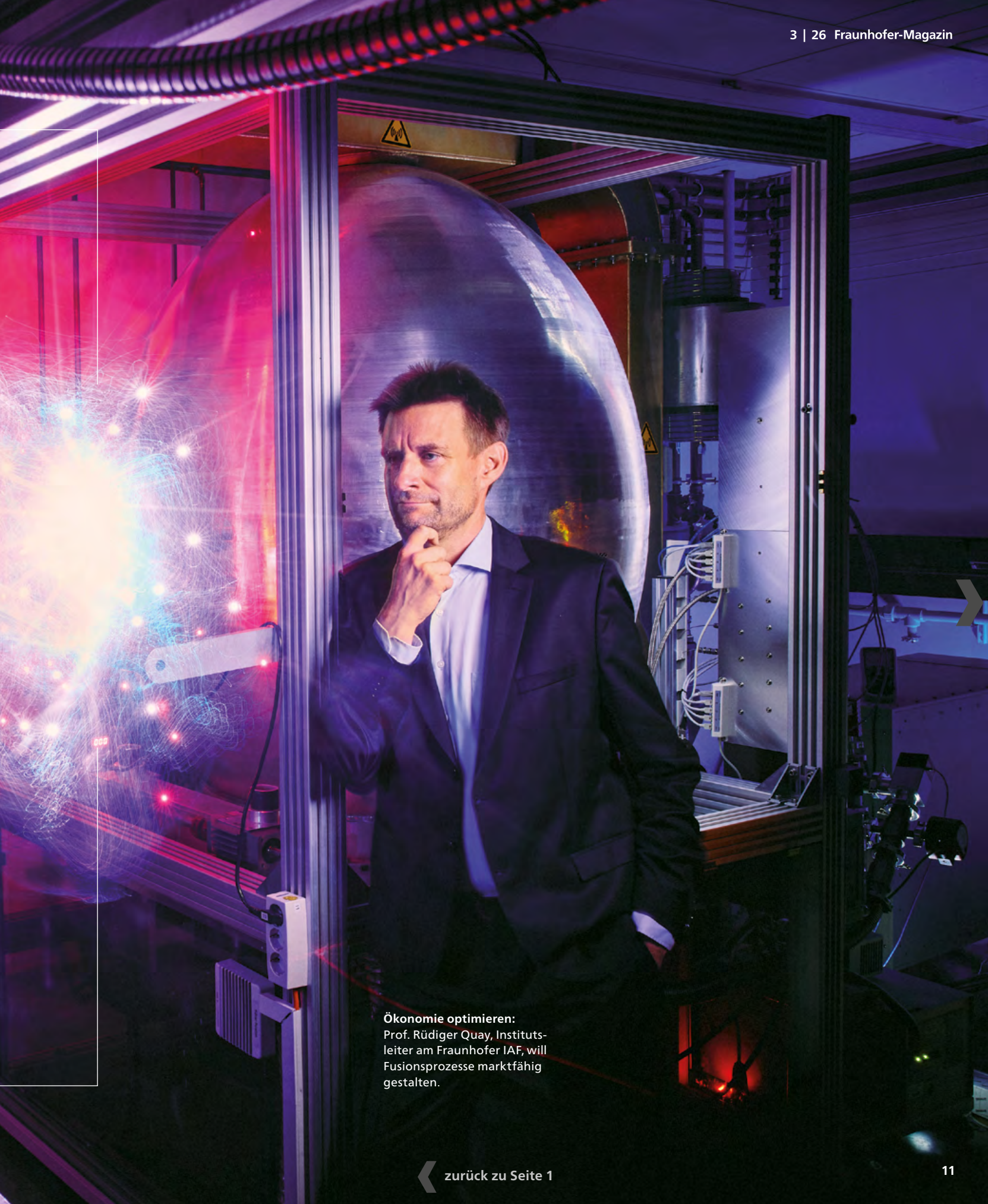
Florian Kaduk vom WWF: »Trapscan liefert uns eine Fülle von genauen Daten, die wir ohne dieses KI-Tool gar nicht verarbeiten könnten. Dafür ist die Datenmenge der Wildkameras zu groß. Jetzt gewinnen wir schneller neue Erkenntnisse. Wo lohnt es sich beispielsweise, einen Verbindungskorridor für die Wildkatze zu pflanzen? Welche Störfaktoren beeinflussen die Tiere am stärksten? In welche Ecken ziehen sie sich bei Hochwasser zurück? Oder wie entwickelt sich der Wald in der Wildnis?«

Zukunftsenergie

Griff nach den Sternen

Kernfusion funktioniert. Doch wie wird daraus ein Kraftwerk? Fraunhofer-Forschende arbeiten an den Bausteinen der Energie-Ära von morgen – und die Industrie profitiert schon heute davon.

Von Beate Strobel; Fotograf: Jonas Ratermann
Fotoassistenz: Carsten Bredhauer



Ökonomie optimieren:
Prof. Rüdiger Quay, Instituts-
leiter am Fraunhofer IAF, will
Fusionsprozesse marktfähig
gestalten.

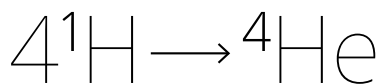
Das Ganze, wusste schon Aristoteles, kann mehr sein als die Summe seiner Teile. So ist es auch bei der Kernfusion: Zwei Atomkerne, die sich eigentlich abstoßen, werden durch extreme Hitze und Druck so zusammengezwungen, dass sie verschmelzen. Dabei wird ein Teil ihrer Masse in Energie umgewandelt. Und zwar in sehr viel: Entsprechend der von Albert Einstein entwickelten Formel $E = mc^2$ entsteht aus einer winzigen Masse (m) eine enorme Energiemenge (E), da die Lichtgeschwindigkeit im Quadrat (c^2) eine gigantisch große Zahl ist. Aus nur einem Gramm Masse werden so mittels Kernfusion 90 Billionen Joule generiert. Das entspricht dem, was ein durchschnittlicher Haushalt in gut 7000 Jahren verbrauchen würde.

Dass Kernfusion existiert, beweisen die Sterne seit Milliarden Jahren. In ihrem Inneren ist es mit etwa 15 Millionen Grad Celsius enorm heiß und es herrscht ein unglaublicher Druck: perfekte Umgebung für Fusion. Wasserstoffkerne bewegen sich darin mit so hoher Geschwindigkeit, dass sie immer wieder kollidieren und dabei unter Freisetzung von Energie zu Heliumkernen verschmelzen. Auf unserer Sonne werden 600 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 595 Millionen Tonnen Helium verbrannt – pro Sekunde. Die Differenz ergibt jene Sonnenenergie, die unser Leben auf Erden erst möglich macht.

Lässt sich dieser Prozess unter den Bedingungen auf der Erde imitieren? Diese Idee fasziniert die Forschung seit gut 100 Jahren. Ein besonders vielversprechender Ansatz nutzt die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium als Brennstoffe für die Kernfusion. In einem 150 Millionen Grad heißen Plasma – jenem vierten Aggregatzustand, der im Universum am häufigsten vorkommt – könnten die Kerne der beiden Wasserstoff-Verwandten zu Helium verschmelzen und dabei Energie freisetzen.

Das Plasma ist dabei Chance und Herausforderung zugleich: Nur hier kann Fusion stattfinden. Doch wie lässt es sich in einem Fusionsreaktor stabil halten? Und wie kann man verhindern, dass das ext-

rem heiße Plasma die Wände des Reaktors zum Schmelzen bringt? Die Forschung hat da zwei Ideen entwickelt. Bei der Magnetfusion fixieren riesige Magneten das Plasma in Form eines im Raum stehenden Rings, sodass es nicht in Kontakt mit den Wänden kommt. Bei der laserinduzierten Trägheitsfusion hingegen erhitzen und verdichten intensive Laserpulse winzige Kapseln mit Deuterium und Tritium so stark, dass die Atomkerne verschmelzen.



Pro Sekunde
verwandelt die
Sonne **600 Mio. t**
Wasserstoff in
595 Mio. t Helium.
Die Differenz wird
zu Energie.

Während also die Magnetfusion darauf abzielt, ein Plasma über längere Zeit einzuschließen, schafft die Trägheitsfusion nur für einen Sekundenbruchteil die nötigen Fusionsbedingungen. Für beide Ansätze stellt sich aber die entscheidende Frage: Lässt sich damit mehr Energie gewinnen, als der gesamte Prozess benötigt?

Am 5. Dezember 2022 schossen die 192 Hochleistungslaser der National Ignition Facility (NIF) an der US-amerikanischen Forschungseinrichtung Lawrence Livermore National Laboratory rund 2,05 Megajoule Energie auf eine winzige Deuterium-Tritium-Kapsel. Die dadurch induzierte Fusion lieferte rund 3,15 Megajoule Energie. Erstmals lösten Laserpulse in einem wissenschaftlichen Experiment eine sogenannte »Zündung« (englisch »Ignition«) aus: Die Fusion setzte genügend Energie frei, um den Brennstoff zusätzlich aufzu-

heizen und kurzzeitig weitere Fusionsreaktionen anzutreiben. Inzwischen erreichte die NIF bei einzelnen Experimenten eine Leistungsvervielfältigung von mehr als Q 4. Bedeutet: Die Fusion setzte mehr als viermal so viel Energie frei, wie dem Brennstoff für den Fusionsprozess zugeführt wurde.

Zum Erfolg der ersten Kernfusionszündung am NIF trug deutsche Hochtechnologie bei: Die Freiburger Diamond Materials GmbH – ein Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg – fertigte die nahezu fehlerfreien Diamantkapseln, in denen der Fusionsbrennstoff eingeschlossen war. Die außergewöhnliche Materialqualität der sogenannten Targets galt als einer der entscheidenden Bausteine auf dem Weg zur historischen Zündung.

Der NIF-Erfolg ist vergleichbar mit dem Moment, in dem erstmals nachgewiesen wurde, dass der Verbrennungsmotor prinzipiell funktioniert, also mehr mechanische Energie liefert, als zum Start nötig ist. Bis die ersten serienreifen Autos auf den Straßen fahren, vergingen allerdings noch viele Jahre. Ähnlich verhält es sich bei der Kernfusion: Das NIF-Experiment hat gezeigt, dass die Grundlagenphysik der Kernfusion funktioniert. Die nächste, noch größere Frage lautet nun: Wie lässt sich daraus ein Kraftwerk entwickeln, das insgesamt mehr Energie liefert, als es verbraucht?

2025 präsentierte das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) die Hightech Agenda Deutschland. In Kombination mit Sonne, Wind, Wasserstoff und Geothermie stellte sie darin die Kernfusion als Technologie mit hohem Potenzial für die künftige Energieerzeugung vor. Ziel ist, Deutschland zu einem führenden Innovationsstandort für Fusionstechnologien zu machen. Dafür sollen bis 2029 mehr als zwei Milliarden Euro in die Fusionsforschung fließen. Drei Hubs bündeln die Forschung und Entwicklung zur Laserfusion, Magnetfusion sowie zu den Querschnittsthemen Brennstoffkreislauf und Materialentwicklung. »Mit den drei Fusionshubs verbinden wir unter-

nehmerische Ambitionen und wissenschaftliche Expertise«, erklärte Bundesforschungsministerin Dorothee Bär. »Das erste Fusionskraftwerk soll in Deutschland stehen.«

Target-Technologien – Suche nach der perfekten Kugel

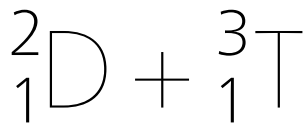
Fraunhofer-Forschende können alle drei Hubs auf dem Weg zum ersten Fusionsreaktor entscheidend unterstützen. »Technologien auch für hochkomplexe Prozesse so weiterzuentwickeln, dass sie nicht nur funktionieren, sondern auch ökonomisch sinnvoll sind: Das zählt zu den Kernkompetenzen von Fraunhofer«, erklärt Prof. Rüdiger Quay, Institutsleiter am Fraunhofer IAF. »Wir sind Enabler – auf der maschinellen wie auf der Prozess-, Software- und Charakterisierungsebene.«

Tatsächlich holen aktuell Fraunhofer-Forschende die Vision in die Realität. Mit einem sehr konkreten Problem der Kernfusion befasst sich etwa der »IFE Targetry Hub«. Das Fraunhofer IAF und das hessische Start-up Focused Energy leiten gemeinsam das 2024 gestartete Verbundprojekt.

Insgesamt 15 Partner aus Forschung und Wirtschaft – darunter vier Fraunhofer-Institute sowie die Fraunhofer-Ausgründung Diamond Materials – entwickeln in acht Arbeitspaketen Materialien, Prozesse und Messmethoden, um Targets herzustellen und zu charakterisieren. Diese winzigen Hohlkugeln werden bei der laserinduzierten Trägheitsfusion mit Laserpulsen so stark komprimiert, dass in ihrem Inneren die für die Kernfusion nötigen Dichten und Temperaturen entstehen.

»Ein sphärisches Target besteht üblicherweise aus einer dünnen Hülle etwa aus Diamant oder auch Kunststoff, gefüllt mit dem Fusionsbrennstoff, zumeist Deuterium und Tritium«, erklärt der Physiker Dr. Jan Engels, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAF. Dafür muss das Target eine möglichst makellose Kugelform mit gleichmäßiger Wanddicke und extrem glatter Oberfläche besitzen und symmetrisch nach innen komprimiert werden. Schon winzige Abweichungen können In-

stabilitäten verursachen und die Fusion beeinträchtigen. »Diamond Materials ist in der Lage, solche perfekten Diamant-Hohlkugeln herzustellen«, erklärt Engels. »Für die Befüllung mit Brennstoff können wir am Fraunhofer IAF mittels UV-Pikosekundenlasern inzwischen winzigste Kanäle in Diamantsphären bohren. Je kleiner der Kanaldurchmesser, desto eher bleibt die Perfektion der Target-Geometrie erhalten.« Am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Mate-



Während Deuterium ein stabiles Isotop ist und praktisch in jedem natürlichen Wasservorkommen steckt, ist **Tritium radioaktiv** und zerfällt mit einer Halbwertszeit von etwa zwölf Jahren.

rialforschung IFAM wiederum wurde eine Methode entwickelt, um die Target-Oberfläche kostengünstig zu glätten und Oberflächenrauheit zu reduzieren. Und das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT hat Photopolymere für das sogenannte 2PP-Druckverfahren entwickelt, ein hochpräzises 3D-Druckverfahren für Mikro- und Nanostrukturen, um Kunststoff als Alternativmaterial für die Brennstofftargets zu nutzen.

Das gemeinsame Ziel von »IFE Targetry Hub« ist, die Herstellung der Targets so günstig wie möglich zu gestalten. »Die

Kernfusion hat nur eine Marktchance, wenn sie ausreichend effizient ist«, betont Rüdiger Quay. »Im Moment kosten Einzeltargets in der Herstellung mehrere Tausend Euro. Ziel ist, pro Target in den Centbereich zu kommen.«

Zur Halbzeit des Projekts war es Diamond Materials bereits gelungen, die Produktion der Diamant-Hohlkugeln auf bis zu 5000 Stück pro Charge zu skalieren. Ein echter Meilenstein – einerseits. »Doch für ein Fusionskraftwerk brauchen wir rund eine Million solcher Kugeln pro Tag«, sagt Quay. Weitere Skalierungsprozesse stehen nun im Fokus der zweiten Projekthälfte, aber auch systematische Lasertests mit den hergestellten Targets.

Viele Fragezeichen – und der Spaß an der Suche nach Antworten

»An einem Thema zu forschen, das vor allem aus einer großen Vision und vielen Fragezeichen besteht, ist extrem reizvoll«, findet Jan Engels. Was es noch reizvoller macht: »Dass in den ersten Fusionsreaktor nahezu alles einfließen wird, was je in der Physik und Ingenieurskunst erdacht und entwickelt wurde.« Bis so ein Reaktor allerdings ans Netz gehen kann, sei noch »das eine oder andere Schmankerl zu lösen«, urteilt Rüdiger Quay. Etwa der sogenannte Tritiumzyklus als eines der zentralen Konzepte künftiger Fusionskraftwerke: Wie lässt sich das für die Fusion benötigte Tritium erzeugen, nutzen, zurückgewinnen und erneut in den Prozess einspeisen?

Während Deuterium ein stabiles Isotop ist und praktisch in jedem natürlichen Wasservorkommen steckt, ist Tritium radioaktiv und zerfällt mit einer Halbwertszeit von etwa zwölf Jahren. Deshalb gibt es auf der Erde nur verschwindend geringe Mengen. Fusionsreaktoren müssen also das benötigte Tritium selbst erzeugen. Geplant ist, die Fusionskammer mit sogenannten Brut-Blankets zu umhüllen, die Lithium enthalten. Die bei der Kernfusion entstehenden Neutronen sollen daraus das Tritium erzeugen, das dann als Brennstoff verwendet wird. Das ist, als ►

Effizienz erhöhen:

Wie lässt sich der Fusionsbrennstoff bestmöglich verpacken? Daran forscht Dr. Jan Engels am Fraunhofer IAF.



D^3T
Helium

»An einem Thema zu forschen, das vor allem aus einer großen Vision und vielen Fragezeichen besteht, ist extrem reizvoll.«

Dr. Jan Engels, Fraunhofer IAF

würde ein Auto während der Fahrt den eigenen Treibstoff herstellen. Deshalb ist für den Betrieb eines Reaktors kein Transport radioaktiver Brennstoffe außerhalb des Kraftwerkgeländes nötig – ein entscheidender Vorteil der Fusion. Was außerdem aus Sicht von Jan Engels für diese Form der Energiegewinnung spricht: »Für ein Fusionskraftwerk kann man Brennstoffe verwenden, die auf der Erde noch in Tausenden von Jahren reichlich verfügbar sein werden.« Der Brutzyklus von Tritium sei allerdings bislang noch nicht in größerem Maßstab umgesetzt worden, gibt er zu bedenken. »Da sind noch viele Fragen offen. Etwa ob Lithium im Brut-Blanket in festem oder flüssigem Zustand vorliegen soll. Oder wie das erzeugte Tritium für die Fusion gereinigt und aufbereitet werden kann.«

Nach Antworten suchen Forschende am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. Mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik IPP entwickeln sie in dem Projekt Tritium-Stopp dünne Barrierschichten, die eine Flucht des wertvollen Isotops in das Wandmaterial verhindern und damit Verluste innerhalb des Tritiumzyklus minimieren. Untersucht werden aktuell verschiedene Schichttypen, etwa Metallnitride, Oxide und diamantartige Kohlenstoffe. Dafür greift das Fraunhofer IWS auf Schichttechnologien zurück, die sich bereits in industriellen Hochleistungsanwendungen bewährt haben, beispielsweise als Verschleißschutz auf stark beanspruchten Werkzeugen. Plasmanähe Strukturen wie das Brut-Blanket sind aber auch generell innerhalb des Fusionsreaktors extremen Belastungen ausgesetzt: starke Hitze, intensive Neutronenstrahlung sowie höchst ungleichmäßige Beanspruchung. All das lässt Materialien schnell ermüden, führt zu Versprödung oder provoziert Risse. Wie sich dies auf das Geschehen im Fusionsreaktor auswirkt, kann die Forschung momentan nur erahnen.

Es gilt also, Werkstoffe zu finden, die diesen extremen Bedingungen standhalten – und sich so verarbeiten lassen, wie es die geometrisch hochkomplexen Bauteile eines Reaktors mit ihren vielen Funktions- und

Kühlstrukturen erfordern. Hier setzt das Projekt AM-SHIELD unter der Leitung des Fraunhofer IWS an. Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft – darunter auch ALOtec Dresden, eine Ausgründung des Fraunhofer IWS – prüft das Institut die Belastbarkeit unterschiedlicher Werkstoffe. Parallel untersucht das Team, wie sich komplexe und großvolumige Strukturbauteile aus Eurofer97 fertigen lassen. Dieser Stahl gilt als »Arbeitspferd« der europäischen Fusionsforschung.

Der eigens hierfür entwickelte Stahl widersteht hohen Temperaturen und intensivem Neutronenbeschuss. Dabei entstehen weniger langlebige radioaktive Isotope als in herkömmlichen Reaktorstählen. Parallel entwickelt und bewertet das Projektteam weitere strahlungsbeständige Werkstoffe.

»Aktuell toleriert man in der Fertigung solcher Großkomponenten Verschnitte von bis zu 90 Prozent«, erklärt Moritz Greifzu, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IWS. »Das muss deutlich material-effizienter und dadurch günstiger werden – solche Spezialwerkstoffe sind extrem teuer. Wir arbeiten an einem hybriden Herstellungsansatz, also einer Kombination aus additiver und subtraktiver Fertigung, um die Gestaltungsfreiheit des 3D-Drucks mit der Präzision von Fräs- und Schleifverfahren zu verbinden.« Als Schnittstelle zwischen Materialentwicklung und Produktionstechnologien sei das Fraunhofer IWS bestens aufgestellt, um solche Lösungen voranzutreiben.

Target Tracking: Auf den Mikrometer genau zielen

Physiker Dr. Alexander Bertz ist Gruppenleiter Geometrische Inline-Messsysteme am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM. Kein Titel, der nach Kernfusion klingt. »Messtechnik ist nicht wirklich sexy«, scherzt Bertz. »Aber wir sind überall mit dabei – und meist unverzichtbar.« Etwa wenn es darum geht, die stecknadelkopfgroßen Targets mit hoher Wiederholungsrate und größtmöglicher Genauigkeit zu beschießen. Beim NIF-

Experiment zielten die Laser auf eine einzige und exakt positionierte Brennstoffkapsel. Für einen Kraftwerksbetrieb müssten etwa zehn Brennstoffkapseln pro Sekunde mit hoher Geschwindigkeit in den Reaktor geschossen und zum richtigen Zeitpunkt von Lasern getroffen werden. Bertz: »Wird das Ziel nur um wenige Mikrometer verfehlt, zündet die Fusion nicht und das Gas verpufft.«

Im Projekt »Star Track« hat das Team um Alexander Bertz ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die Flugbahn von sehr kleinen und sich extrem schnell bewegend Objekten mikrometergenau in Echtzeit bestimmen lässt. »Aufgesetzt haben wir dabei auf etwas, das sich chromatiskonfokale Messtechnik nennt«, erklärt Bertz. »Dabei wird eine Weißlichtquelle durch eine chromatisk-aberrative Optik geschickt und so eine Art Regenbogen erzeugt. Anhand der Farbe, die reflektiert und von einem Sensor erfasst wird, lässt sich die Position eines Kügelchens sehr genau identifizieren, das diesen Regenbogen durchfliegt.«

In einer Weiterentwicklung dieser Technologie will Bertz die digitale Holographie involvieren – ein Verfahren, mit dem die vollständige Information eines Lichtfelds digital aufgezeichnet und via Computer rekonstruiert werden kann, um ein Objekt auch dreidimensional darzustellen und zu vermessen. »So lässt sich nicht nur die Position eines Brennstoff-Targets bestimmen, sondern auch dessen Orientierung, also dessen Drehung. Dann kann die Polarisation des Lasers so eingestellt werden, dass tatsächlich eine Zündung stattfindet und nicht bloß eine Verpuffung.«

Beteiligt an »Star Track« war auch das Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, dessen Expertise unter anderem darin liegt, Projektilen auf extrem hohe Geschwindigkeiten zu beschleunigen. »Die Brennstoff-Targets müssen für einen funktionierenden Kraftwerksbetrieb den Beschleunigungsvorgang unbeschadet überstehen«, erklärt Dr. Pascal Matura, Abteilungsleiter am Fraunhofer EMI. Dazu haben Forschende am Institut ►

Diamanthohlkugeln des Unternehmens Diamond Materials mit einem ihrer Laborbeschleuniger auf eine Geschwindigkeit von mehr als 200 Meter pro Sekunde gebracht und im Freiflug hochauflösend mit spezieller Messtechnik fotografiert.

Bis zu einem funktionierenden Kraftwerk ist allerdings noch ein gewisser Weg zu gehen. Auf ebendiesem befindet sich das – im wahrsten Wortsinn – Großprojekt ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), an dem das Team um Matura ebenfalls beteiligt ist. Die Forschungsanlage, die aktuell am südfranzösischen Entwicklungszentrum für Kernenergie Cadarache entsteht, wird bei Fertigstellung in etwa so hoch sein wie ein



In einem Reaktor soll Wasserstoffplasma auf rund **150 Mio. °C** erhitzt werden.

25-stöckiges Gebäude und die weltweit größte Forschungsanlage für Magnetfusion beherbergen. 35 Nationen entwickeln hier gemeinsam so etwas wie einen künstlichen Stern: In einem Reaktor soll Wasserstoffplasma auf rund 150 Millionen Grad Celsius erhitzt und durch gewaltige Magnetfelder zu einem Donut-artigen Gebilde mit einem Radius von gut sechs Metern und einem Volumen von 840 Kubikmetern geformt werden. In dieser Größenordnung ist das Plasma nur schwer langfristig zu kontrollieren. »Instabilitäten des Plasmas können zu sogenannten Plasmadisruptionen führen und dabei sehr viel Energie freisetzen sowie Komponenten im Inneren der Anlage beschädigen«, erklärt Physiker Matura. Um den Auswirkungen solcher Plasmainstabilitäten etwas entgegenzu-

setzen, soll in ITER ein Schutzsystem eingebaut werden: Über das »Disruption Mitigation System« (DMS) werden binnen Millisekunden große Mengen von gefrorenem Wasserstoff oder Neon in das Plasma eingeschossen. »Dadurch wird das Plasma etwas abgekühlt, die Dichte erhöht und seine Energie verringert.«

Der Clou dabei: Der gefrorene Stoff in Form eines Zylinders – etwas größer als der Korken in einer Weinflasche – wird nicht direkt in das Plasma geschossen, sondern prallt zunächst auf eine leicht schräg stehende Platte. Dort zerbricht das Pellet und wird als Fragmentschauer in das Plasma eingeleitet. Da die Effektivität des DMS von der Größe, Geschwindigkeit und Verteilung der Fragmente abhängt, haben die Forschenden am Fraunhofer EMI numerische Modelle und Computercodes zur Simulation und Analyse des Fragmentierungsprozesses entwickelt und mit experimentellen Ergebnissen des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in Garching abgeglichen. Ziel des Projekts, das in diesem Jahr endet, ist eine Optimierung des Fragmentierungsprozesses: Was sind die idealen Beschuss- und Aufprallbedingungen, um die gewünschten Fragmentierungseigenschaften zu bekommen? Oder einfacher formuliert: Die Forschenden am Fraunhofer EMI wollen herausfinden, wie man am geschicktesten das Eis bricht.

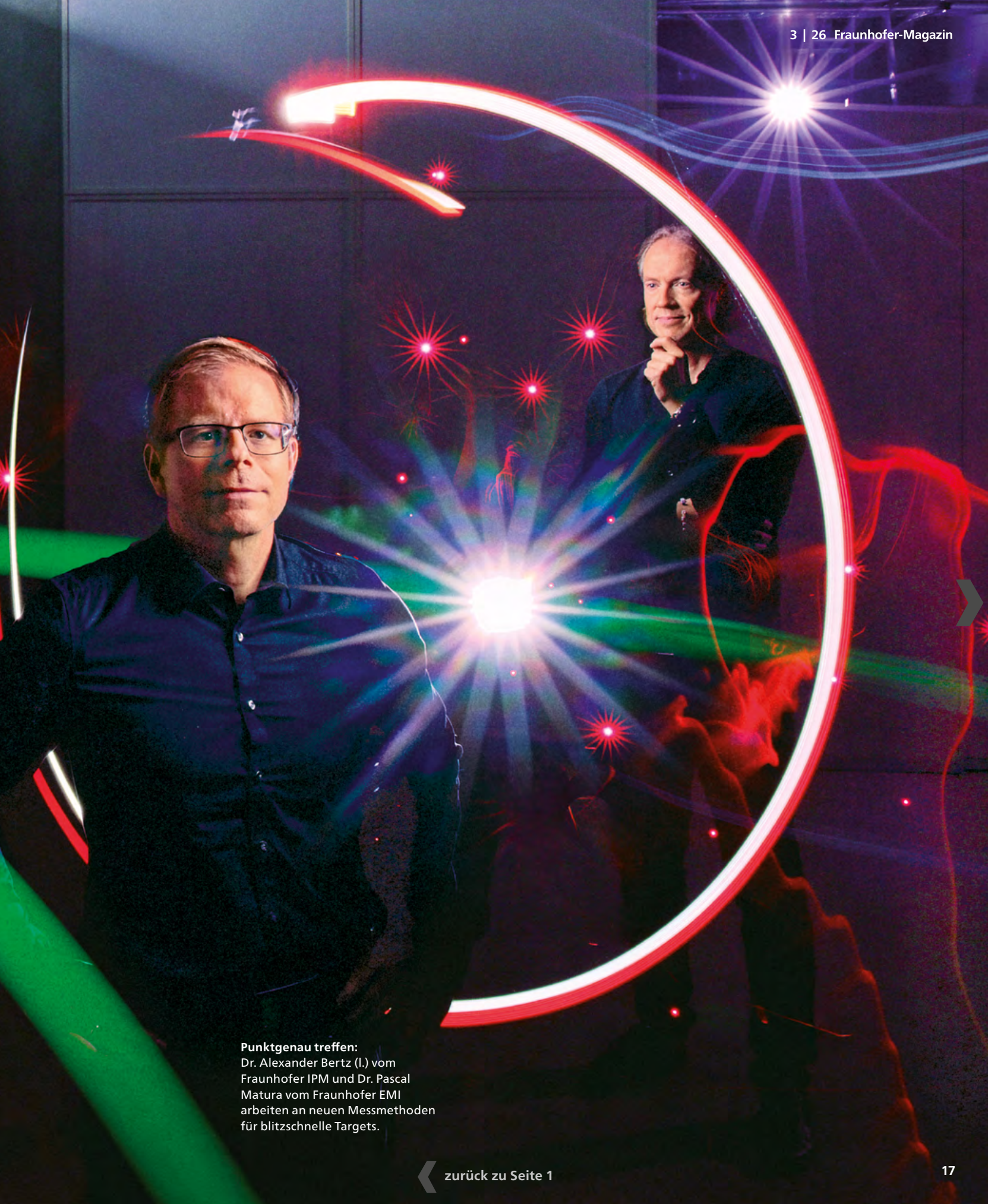
Im Strahlengang: Präzisionsoptiken auf ein neues Level heben

Während bei der Magnetfusion starke Magnetfelder das Plasma kontrollieren, muss bei der Trägheitsfusion die Laserenergie möglichst präzise geformt, gelenkt und fokussiert werden. Und das in einem Ausmaß, als wollte man mit mehreren Pfeilen gleichzeitig aus mehreren hundert Kilometern Entfernung dieselbe Stecknadel treffen. Diese Präzisionsaufgabe übernehmen riesige Spiegel, Linsen und Kristalle entlang des gesamten Strahlengangs. »Ohne optische Funktionalisierung, ohne optische Schicht geht da gar nichts«, betont Dr. Astrid Bingel. Die Physikerin entwickelt am Fraunhofer-Institut für

»Messtechnik ist überall mit dabei – und meist unverzichtbar.«

Dr. Alexander Bertz, Fraunhofer IPM





Punktgenau treffen:
Dr. Alexander Bertz (l.) vom
Fraunhofer IPM und Dr. Pascal
Matura vom Fraunhofer EMI
arbeiten an neuen Messmethoden
für blitzschnelle Targets.

Mehr möglich machen:

Dr. Astrid Bingel und Dr. Thomas Gischkat bringen am Fraunhofer IOF optische Schlüsselkomponenten für die Laserfusion auf Hochleistungs-Level.

»Ohne optische Funktionalisierung, ohne optische Schicht geht da gar nichts.«

Dr. Astrid Bingel, Fraunhofer IOF

Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena technische Innovationen für die Kernfusion, passt bestehende Optiken und Technologien an die Anforderungen der Kernfusion an und sucht nach Wegen, auf denen sich gefundene Lösungen auf industriellen Maßstab skalieren lassen.

»Letzteres ist fast die größte Herausforderung«, urteilt Bingels Kollege Dr. Thomas Gischkat: »Viele der neuen optischen Komponenten funktionieren bereits im Labor. Aber damit sich die Kernfusion als saubere Energiequelle am Markt etablieren kann, muss sie sich zu einem High-End-Massenprodukt entwickeln.« High-End-Technologie zu entwickeln, ist schon extrem anspruchsvoll. Und dann auch noch zu ökonomisch vertretbaren Preisen? Genau das wird entscheidend sein, um Kernfusion zur Energie der Zukunft zu machen. Schließlich sind in einem Fusionsreaktor mehrere tausend optische Komponenten verbaut, deren Herstellung aber in der Summe finanzierbar bleiben soll. Eine Herausforderung, die den Forschenden am Fraunhofer IOF bereits von Smartphones und ähnlichen Konsumentenprodukten bekannt sei, ergänzt Astrid Bingel und lacht: »Auch da soll etwa die Beschichtung der Optiken bestmöglich sein – und zugleich möglichst günstig.«

Die optischen Teile sind, so Bingel, der begrenzende Faktor im Kraftwerk. Diese Grenzen zu erweitern, ist Ziel des Verbundprojekts PriFUSIO: Ein Konsortium aus sieben Industriepartnern und drei Forschungsinstituten (darunter die Fraunhofer-Institute IOF und ILT) will photonische Schlüsselkomponenten für die laserbasierte Fusion erforschen und industriell nutzbar machen. Die Arbeit für die Forschenden am Fraunhofer IOF setzt dabei ganz vorne an: an der Laserquelle, also dort, wo das Licht erzeugt wird. »Hier muss es bereits gebeugt werden«, erklärt Thomas Gischkat: Durch sogenannte Beugungsgitter kann das Licht nach der Wellenlänge aufgetrennt, die gewünschte Wellenlänge ausgewählt und sehr präzise gesteuert werden.

»Am Fraunhofer IOF dürfen wir uns rühmen, dass wir die besten und effizientesten Gitter haben«, betont Gischkat.

»Doch selbst deren Strukturen leiden bei der Verwendung von Laserlicht. Im Projekt PriFUSIO wollen wir herausfinden, wie sich die Laserstabilität durch passende Designs erhöhen ließe.« Zur Extra-Challenge wird dieses Vorhaben durch die Anforderung, dass die Gitter nicht nur einen klei-

»Optische Komponenten müssen sich zu High-End-Massenprodukten entwickeln.«

Dr. Thomas Gischkat, Fraunhofer IOF

nen Wellenlängenbereich durchlassen dürfen, sondern möglichst breitbandig sein müssen, denn: »Das Laserlicht wird sehr stark komprimiert und hat dadurch viele Wellenlängenanteile.«

Im Projekt FusioTile, gestartet 2025, werden sogenannte Puls-Kompressionsgitter (PCGs) entwickelt, die den Laserstrahl erst »strecken« und dann wieder stark zusammendrücken. Dadurch entstehen sehr kurze, aber extrem energiegeladene Lichtpulse. Ziel ist zudem, diese Gitter im Meterbereich zu gestalten, ohne dass Präzision verloren geht, und dafür entsprechende Fertigungsverfahren zu entwickeln.

Im Projekt SHARP wiederum, koordiniert von der Schott AG, entwickeln Forschende am Fraunhofer IOF sowie dem Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS seit 2025 Hochleistungsspiegel für Fusionskraftwerke. Diese sollen nicht nur möglichst wenig Laserlicht absorbieren, sondern auch langfristig sehr hohen Temperaturen standhalten. Dafür müssen Kühlstrukturen in die Glassubstrate integriert und thermomechanische Effekte in die Schichtentwicklung einbezogen werden. »Üblicherweise würde man mit Kältefallen an der Rückseite arbeiten – etwa einer Metall-

schicht, die thermische Energie abführt«, erläutert Physiker Gischkat. »Doch Metalle kann man oft nicht gut bearbeiten. Wir wollen auf eine von Zeiss entwickelte Technologie aufsetzen und Kühlkanäle schon während der Herstellung ins Glas hineinschreiben.« Der Vorteil: »Der Spiegel ist dann monolithisch, also ein kompakter Körper – so existiert keine Sollbruchstelle, die kaputtgehen könnte. Würde man die Kühlkanäle nachträglich einätzen, müsste man diese mit einer Art sehr dünnem Deckel abdichten, der abspringen könnte unter Belastung.«

Während es bei SHARP um Spiegel geht, befasst sich das Projekt NanoAR mit dem gegenteiligen Prinzip: der Entspiegelung von Oberflächen. »Spiegel sind ja im Prinzip strahlformende Komponenten, man möchte hier eine möglichst hohe Reflexion«, erklärt Astrid Bingel. »Bei transparenten Optiken hingegen will man jegliche Reflexion an den Grenzflächen vermeiden, da der Laserstrahl möglichst verlustfrei hindurchgehen soll.« Selbst wenn an einer Grenzfläche nur wenige Prozent reflektiert werden, multipliziert sich das deutlich bei mehr als 100 Komponenten im Strahlengang.

»Bei NanoAR wollen wir keine Anti-Reflex-Beschichtungen nutzen, sondern sogenannte Metaoberflächen oder nanostrukturierte oberflächeneffektive Medien«, erläutert Bingel. Dafür haben sich die Forschenden von der Natur inspirieren lassen: »Mottenaugen reflektieren nahezu kein Licht. So können Motten nachts sehen, ohne dass ihr Auge Licht zurückwirft und Räuber aufmerksam werden.« Unter dem Mikroskop betrachtet, ist die Oberfläche von Mottenaugen nicht glatt, sondern mit Millionen Erhebungen im Nanometerbereich bedeckt. Während der Lichtbrechungsindex sich bei einer normalen Glasfläche abrupt beim Übergang von Luft zu Glas ändert, ermöglichen diese Strukturen einen sanften Übergang des Brechungsindex zwischen Luft und Auge: Das Licht dringt nahezu verlustfrei ein.

Am Fraunhofer IOF wird eine Nanostruktur auf das Glas gesetzt mit dem intern erdachten Verfahren AR-plas2. Die ►

Methode ist eine Kombination aus Beschichtung und Nanostrukturierung: Nicht die Linse selbst wird strukturiert, sondern deren hauchdünne Beschichtung auf Basis von Siliciumdioxid oder Calciumfluorid. Das Ergebnis sind sehr klare und kontrastreiche Hochleistungsoptiken mit einer Entspiegelung, die selbst bei schrägem Lichteinfall noch wirkt.

»Das Projekt NanoAR endet 2027, aber in seinem Verlauf ergeben sich immer wieder neue Herausforderungen«, betont Bingel. »Da liegt noch viel Arbeit vor uns, bis wir das letztmögliche Millionstel herausgekitzelt haben.« Denn immer wieder stoßen die Forschenden auf ein Henne-Ei-Problem: »Auf wissenschaftlicher Seite entwickeln wir am Fraunhofer IOF beispielsweise optische Komponenten, für die wir von denen, die die Fusionslinien aufbauen, Spezifikationen einfordern«, erklärt Astrid Bingel. »Wir fragen dort also nach: Was braucht ihr, wie groß müssen die Optiken sein, wie stark gekrümmt werden sie sein, was müssen sie leisten?« Doch die optischen Designs für das Fusionskraftwerk liegen zum Teil noch nicht final vor. Bingel: »Wir haben also aktuell zwei parallele Entwicklungen: Seitens der Kraftwerkgestaltung heißt es, dass die Optik dieses oder jenes Ziel erreichen muss. Die Forschenden im Bereich Optik wiederum sagen: Wir können dieses und jenes – designt entsprechend euer Fusionskraftwerk. Diese beiden Stränge pushen sich jetzt gegenseitig.«

Lebensdauer verlängern: Schon jetzt an Reparaturen denken

Manche Fraunhofer-Forschende denken sogar bereits über den Start des ersten Fusionsreaktors hinaus. Thomas Derra vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT etwa befasst sich im Projekt ISEGRIM schon heute damit, wie sich Defekte im Inneren eines Fusionsreaktors nach dessen Inbetriebnahme möglichst schnell und kostengünstig reparieren lassen. »Diese Technologie kann nur dann wirtschaftlich gestaltet werden, wenn man Wartungs- und Reparaturkonzepte

von Beginn an mitentwickelt«, erklärt der Ingenieur. »Die dafür nötigen Vorrichtungen können ja nicht einfach nachträglich in das komplexe Reaktorsystem integriert werden.«

ISEGRIM fokussiert darauf, überbeanspruchte Bauteile in Reaktoren zu reparieren, statt sie auszutauschen – idealerweise, ohne dafür den Betriebszustand vollständig herunterfahren zu müssen. Dieses Vorgehen soll Kosten sparen und die Lebensdauer von Fusionsreaktoren verlängern. »Wir entwickeln dafür das industriell bereits bewährte Laser-Auftragschweißen mit Draht weiter«, erklärt Derra: Per Laser wird ein Wolframdraht erst geschmolzen und dann gezielt auf die beschädigte Stelle aufgetragen, sodass eine neue, feste Schicht entsteht.

Wolfram ist allerdings ein kritischer Werkstoff: Seine hohe Widerstandsfähigkeit macht ihn attraktiv für die Fertigung von Reaktorbauteilen, aber zum Problemfall für das Laser-Auftragsschweißen. »Wolfram hat nicht nur den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle, sondern ist bei niedrigen Temperaturen auch ein eher sprödes Material, mit dem sich nur schwer gleichmäßige und rissfreie Schweißschichten erstellen lassen«, erklärt Derra. Deshalb versuchen die Forschenden am Fraunhofer IPT, speziell auf die Eigenschaften von Wolfram abgestimmte Laser- und Anlagentechniken zu entwickeln.

Weil Wolfram im erhitzten Zustand Sauerstoff anzieht, werden zusätzlich Versuche im Vakuum durchgeführt – etwas, das späteren Reaktorreparaturen entgegenkommt, da praktisch alle Konzepte für Fusionsreaktoren vorsehen, dass der Betrieb im Hochvakuum stattfindet. Derra: »Wir müssten bei Reparaturbedarf nicht warten, bis der Reaktor vollständig abgeschaltet, belüftet und abgekühlt ist, um Module im Inneren wieder instand zu setzen. Solche erzwungenen Stilllegungszeiten würden die Wirtschaftlichkeit eines Reaktors drastisch senken.«

Was Thomas Derra besonders freut: »Bei ISEGRIM haben wir Unternehmen mit an Bord, die mit dem Thema Kernfusion bislang noch gar nichts zu tun hatten«,

erzählt er. »Die haben nun aber richtig Feuer gefangen und finden sich immer mehr in die Thematik ein.« Gemeinsam habe man durch das Projekt beispielsweise viel über den Werkstoff Wolfram gelernt und dessen Einsatz in Additivprozessen. Dass sich über die Projektzusammenarbeit viele kluge Köpfe aus unterschiedlichen Branchen mit solchen Forschungsfragen befassen, sieht er als große Chance – für die Realisierung der Kernfusion, aber auch für den Technologiestandort Deutschland.

Neue Chancen für viele Industrien und Unternehmen

Den Appetit auf Kernfusion wecken, Synergieeffekte finden und die Vision einer sauberen, sicheren und grundlastfähigen Energiequelle interdisziplinär verfolgen: Das sieht das 2025 vom Fraunhofer IWS und dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) gegründete Kompetenzwerk SAXFUSION als seine vorrangigste Aufgabe an. Das sächsische Netzwerk ist zentrale Anlaufstelle für interessierte Unternehmen und Einrichtungen aus der Forschung, Industrie und Gesellschaft. »Unser Ziel ist, Menschen und Unternehmen aus den unterschiedlichsten Branchen mitzunehmen auf die Reise Richtung Fusionskraftwerk«, erläutert Anne-Katrin Leopold, Werkstoffwissenschaftlerin am Fraunhofer IWS und Koordinatorin von SAXFUSION. »Bislang wurde das Thema Kernfusion ja eher seitens der Physik bespielt. Seit der Kraftwerksbau in den Fokus gerückt ist, kommen nach und nach Ingenieure hinzu. Doch es braucht noch mehr Expertisen, etwa hinsichtlich Energienetz oder Lieferketten. Viele Industriebranchen sehen noch nicht, welche ökonomischen Chancen in der Kernfusion liegen.«

»Durch das Netzwerk ist sichtbar geworden, wie viel Kompetenz zu diesem Thema bereits in der Region Sachsen vorhanden ist«, ergänzt Leopolds Kollege Moritz Greifzu. Mit einer Rate von bis zu einer Billion Neutronen pro Sekunde beherbergt das HZDR beispielsweise einen der leistungsstärksten beschleunigerbasierten ►

A man in a dark t-shirt and pants sits on a wooden stool, looking up at a large yellow robotic arm. The arm is emitting a bright, glowing blue energy field that resembles a fusion reaction or a complex particle interaction. The scene is set in a dark, industrial environment with blue and purple lighting. The floor is highly reflective, showing the man and the robot. A control panel is visible on the floor near the robot's base.

Weiter denken: Thomas Derra vom Fraunhofer IPT entwickelt Reparaturoptionen für künftige Fusionsreaktoren – und neue Lösungen für die Verarbeitung von Wolfram.

»Wir müssten bei Reparaturbedarf nicht warten, bis der Reaktor abgeschaltet und abgekühlt ist, um Module im Inneren wieder instand zu setzen.«

Thomas Derra, Fraunhofer IPT

Neutronengeneratoren Europas. Zugleich verfügt Sachsen über eine starke Automobilzulieferindustrie, die neue Geschäftsfelder erschließen will. »Mit SAXFUSION schlagen wir die Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft«, betont Dr. Jens Möller, Leiter Forschungsmanagement am Fraunhofer IWS und Mitinitiator von SAXFUSION. »In diesem Feld entstehen neue Wertschöpfungsketten und Märkte, die gerade kleinen und mittelständischen Unternehmen spannende Perspektiven eröffnen.« SAXFUSION läuft noch bis Ende 2027. Anne-Katrin Leopold: »Bis dahin wollen wir die Kernfusion als Thema in der Forschungs- und Industrielandschaft so sicher verankert bekommen, dass diese Netzwerkstrukturen sich verstetigen.«

Der Strombedarf wird bis Mitte des Jahrhunderts weltweit um ein **2,5-Faches** steigen.

Laut Prognosen der Internationalen Energieagentur IEA wird der Strombedarf bis Mitte des Jahrhunderts weltweit um ein 2,5-Faches auf 70 Petawattstunden (PWh) pro Jahr steigen. Um ein Zehntel davon zu decken, bräuchte es fast 1000 Fusionskraftwerke. In den vergangenen 50 Jahren hat sich die Leistung von Fusionsanlagen um das 100 000-Fache gesteigert, mehr als 2000 Patente weltweit sind in den vergangenen zwei Jahrzehnten im Zusammenhang mit der Kernfusionstechnologie beantragt worden. Doch noch steht es in den Sternen, wann das erste Kernfusions-Kilowatt tatsächlich ins Energienetz eingespeist werden kann. Ist es trotzdem gerechtfertigt, in wirtschaftlich schwierigen Zeiten die Forschung hier mit vielen Milliarden Euro zu befeuern?

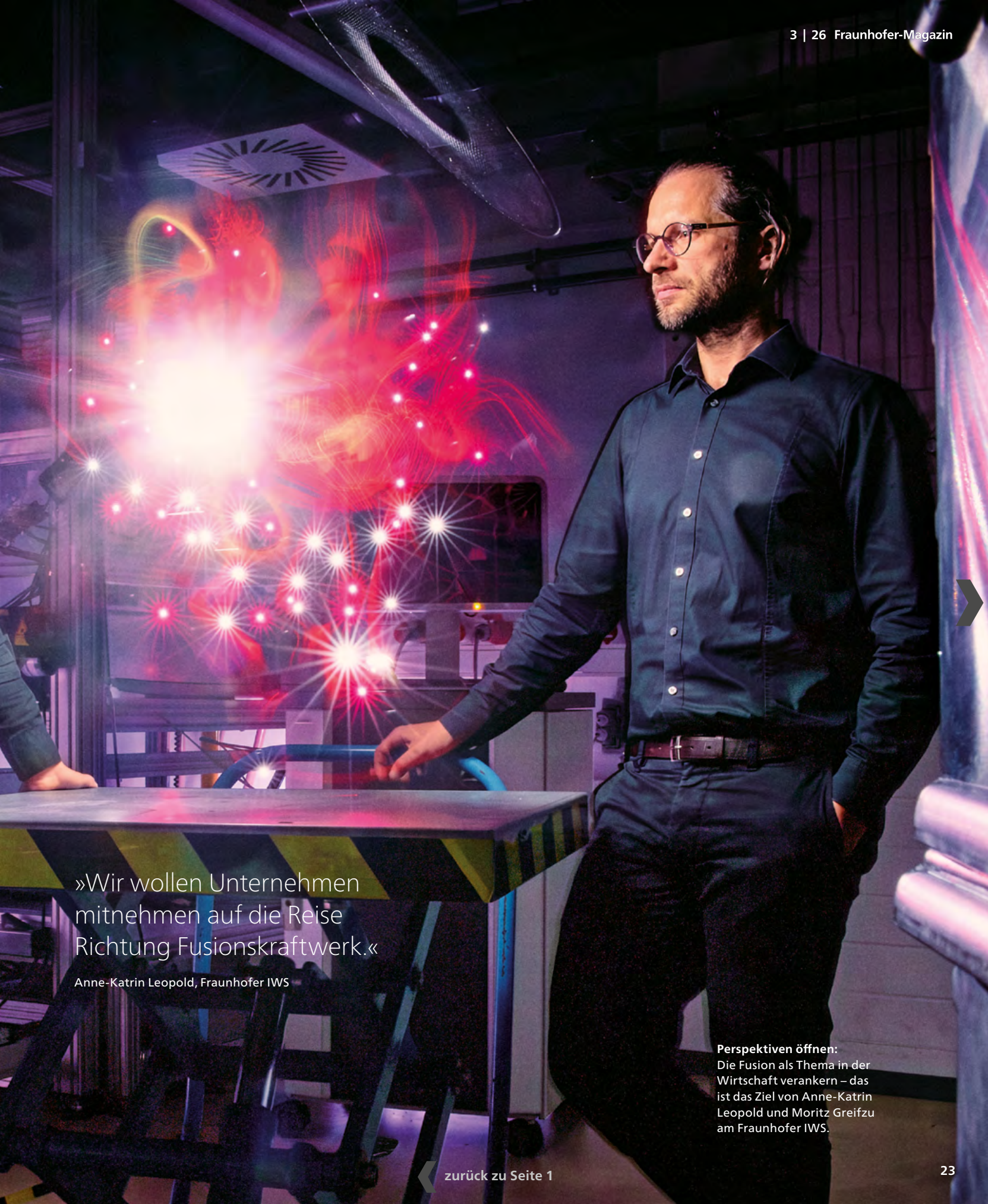
Dr. Alexander Bertz vom Fraunhofer IPM findet: Auf jeden Fall – weil viele Lösungen, die in den Fraunhofer-Instituten für die Energiequelle von morgen entwi-

ckelt werden, auch industrielle Herausforderungen von heute adressieren. »Die Messtechnik, die wir fürs Target-Tracking entwickeln, ist beispielsweise superspannend für die Robotik«, erklärt Bertz. »Damit lässt sich die Genauigkeit, mit der ein Industrieroboter seine Werkzeugspitze einsetzt, in den Submikrometerbereich erweitern. Tatsächlich sind wir bereits im Gespräch mit möglichen Industriepartnern.« Die Fragmentierungsprozesse, die sein Forschungskollege Dr. Pascal Matura vom Fraunhofer EMI untersucht, sind ebenso für militärische Anwendungen interessant wie für die Raumfahrt: »Im All können Mikrometeoriten oder Weltraumschrott mit extrem hohen Geschwindigkeiten auf Satelliten treffen. Die mit ITER entwickelten Methoden sollen helfen, Kaskadeneffekte bei der Fragmentierung besser zu verstehen und entsprechende Schutzkonzepte zu erstellen.«

Und die Innovationen, die Fraunhofer-Forschende für optische Schlüsselkomponenten entlang des Strahlengangs entwickeln? »Die Technologien, die in Projekten wie NanoAR entstehen, sind anschlussfähig für jegliche industrielle Anwendung von Hochleistungsoptiken«, urteilt Astrid Bingel. »Sobald man mit klassischen Schichtsystemen nicht mehr weiterkommt, werden Nanostrukturen interessant.« Vor allem der Maschinenbau könne von der Fusionsforschung profitieren, findet Jens Möller vom Fraunhofer IWS – egal, ob es um neue beziehungsweise weiterentwickelte Produktionstechnologien geht oder um Werkstoff-Innovationen etwa im Bereich Stahl.

An einer technologischen Vision zu arbeiten und zugleich die Wirtschaft im Hier und Jetzt zu unterstützen – dieser Ansatz hat aus Sicht von Alexander Bertz und Pascal Matura großen Charme: »Mit der Fusionsforschung gestalten wir Gegenwart und Zukunft gleichermaßen.« Vor allem aber sei die Realisierung der Kernfusion endlich wieder ein gemeinsames globales Ziel, findet Anne-Katrin Leopold vom Fraunhofer IWS – »jene positive Zukunftsvision, nach der sich viele Menschen sehnen«.





»Wir wollen Unternehmen mitnehmen auf die Reise Richtung Fusionskraftwerk.«

Anne-Katrin Leopold, Fraunhofer IWS

Perspektiven öffnen:
Die Fusion als Thema in der Wirtschaft verankern – das ist das Ziel von Anne-Katrin Leopold und Moritz Greifzu am Fraunhofer IWS.

Gründen mit Fraunhofer

Mit EDENenergy ins zweite Leben

Von Beate Strobel

Die elektrische Version des Tretrollers hat Fahrt aufgenommen – und das nicht nur in Großstädten. Mehr als 1,4 Millionen E-Scooter stehen inzwischen in Privathaushalten. 2023 wurden in Deutschland erstmals mehr E-Bikes als muskelbetriebene »Bio-Bikes« verkauft.

Die benötigte Energie wird in der Regel in Lithium-Ionen-Akkus transportiert. Die aber enthalten kritische Rohstoffe, oft abgebaut unter bedenklichen Bedingungen, und müssen schon nach 800 bis 1500 Ladezyklen ausgetauscht werden. Technisch gilt eine Batterie als »erschöpft«, wenn sie nur noch 70 bis 80 Prozent ihrer ursprünglich Kapazität speichern kann. Das Freiburger Cleantech-Start-up EDENenergy will ein zweites Leben für die Millionen Mikromobilitäts-Akkus – als Industriespeicher. »Dass die Batterien irgendwann im Recyclingprozess landen, steht fest«, erklärt CEO Florian Bierwirth: »Wir versuchen aber, aus

der Zeit bis dahin das Maximale herauszuholen. Jeder Akku, der sein tatsächliches Lebensende erreicht, ist für uns ein Erfolg, weil wir es geschafft haben, die eingesetzten Ressourcen bestmöglich zu nutzen.«

Der schnelle Sprung vom Masterstudenten zum CEO

Gestartet ist EDENenergy als Projekt am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; Florian Bierwirth schrieb dort seine Masterarbeit zum Thema Batteriesicherheit. »Doch dann ist der damalige Projektleiter ins Ausland gezogen, und unser Forschungsvorhaben drohte einzuschlafen – es sei denn, ich übernehme«, erzählt der Elektroingenieur. »Anfangs kam mir das vermessen vor: ein Masterstudent, der seinen Berufseinstieg als Geschäftsführer macht. Doch es war genau die richtige Entscheidung.« Noch macht das Start-up keinen Gewinn, das inzwischen sechsköpfige



Mehr rausholen:
Ein Fraunhofer-Start-up nutzt Akkus aus der Mikromobilität als Industriespeicher.

Team finanziert die Gehälter momentan teilweise über das EXIST-Gründungsstipendium. Bierwirth: »Als junge Ex-Studenten sind wir geübt darin, mit wenig Geld zurechtzukommen.«

Mit dem EDENStorage ONE hat das Start-up den ersten auf Mikromobilitäts-Akkus basierenden »Second Life«-Batteriespeicher entwickelt. Der Clou dabei: Durch eine spezielle Leistungselektronik kann jeder der verwendeten Akkus individuell geladen und entladen werden. »Herkömmliche Batteriespeicher funktionieren nach dem Prinzip einer Wandergruppe: Das Teamtempo wird bestimmt durch das langsamste Mitglied«, erklärt Florian Bierwirth. Übertragen auf Speicher, bei denen die Akkus in Serie geschaltet sind, bedeutet das: Ist auch nur ein Modul zu alt, sinkt die gesamte Speicherleistung. Bei der Lösung von EDENenergy hingegen werden die Akkus einzeln angesteuert. »So können wir beispielsweise eine Batterie zu 100 Prozent laden und



eine andere gleichzeitig unangetastet lassen.« Ein innovativer »Plug & Play«-Ansatz ermöglicht zudem den schnellen und einfachen Tausch von Batteriemodulen, die ihr tatsächliches Lebensende erreicht haben. Bierwirth: »Dank des Monitorings und dem Austausch einzelner Batterien können wir unseren Kunden eine hundertprozentige Kapazitätsgarantie für zehn Jahre geben. Damit liegen wir deutlich über dem Marktstandard von 80 Prozent Kapazität nach zehn Jahren.«

Ursprünglich wollte das Gründer-Team von EDENenergy – neben Florian Bierwirth zählen noch Daniel Seeger und Hannes Kurzmann zur Start-Crew – vor allem Privatkunden adressieren. Doch dieser Markt ist schlicht zu heterogen. Deshalb stehen inzwischen kleine und mittelständische Unternehmen im Zentrum der Marketingstrategie, genauer gesagt »KMU in Freiburg, im Schwarzwald und im Oberrheingraben, die bereits eine Photovoltaikanlage haben,

aber noch keinen Speicher«, so Bierwirth. Parallel zu neuen Kunden sucht das Start-up weitere »Sourcing Partner«, also Akku-Lieferanten. An Bord sind bereits die Job-Rad GmbH in Freiburg sowie der E-Scooter-Anbieter Dott (ehemals Tier). »Interessant sind für uns aber generell alle Flottenanbieter in Sachen Mikromobilität oder Unternehmen wie die Deutsche Post, bei denen Tausende E-Bikes mit baugleichen Akkus in Betrieb sind.«



Team EDENenergy: Thomas Kunz, Florian Bierwirth, Nicola Jung, Daniel Seeger, Levin Deitigsmann, Hannes Kurzmann (v.l.n.r.).

Mit der Gründung als GmbH Mitte 2026 ist der Abnabelungsprozess des Start-ups vom Fraunhofer ISE offiziell vollzogen. »Wir sind nun Untermieter, was den Vorteil hat, dass sich für uns von den Räumlichkeiten und der Infrastruktur nichts geändert hat«, so Bierwirth. Auch die Finanzierung über AHEAD, ein dreiphasiges Programm von Fraunhofer Venture, ist ausgelaufen. »Das Gehäuse unseres ersten Speichers wird gerade in Rumänien fertiggestellt, die Leistungselektronik liegt bereits vor«, freut sich der CEO. »Wir stehen also kurz davor, unseren ersten Industriespeicher beim Kunden zu installieren.«

Fokus auf die schnellste Lösung

Sich nicht technisch zu verkünsteln bei der Suche nach der perfekten Lösung, sondern lieber schnell auf den Markt zu kommen, um die Nische zu besetzen: Das zählt zu den Gründungstipps, die sich das EDENenergy-Team zu Herzen genommen hat. Ein anderes wichtiges Learning, so Bierwirth: Ohne Netzwerk geht gar nichts. »Viele Fachkräfte in der Wirtschaft haben eine Fraunhofer-Vergangenheit, an die man anknüpfen kann.« Hinzu komme, dass der Name der Forschungsorganisation sowohl bei Investoren als auch bei Kunden eine »Abkürzung im Vertrauensprozess« darstellt und damit ein echter Türöffner sei.

Das Wichtigste aber, was Florian Bierwirth weitergeben möchte an potenzielle Gründerinnen und Gründer: Die wirtschaftliche Krisenzeit aktuell ist ein guter Nährboden für Entrepreneure. Und das nicht nur, weil der Sprung von der Uni in die Festanstellung schwieriger geworden ist. Sondern auch, weil Regierung und Wirtschaft derzeit willens sind, junge Unternehmen mit Risikokapital zu unterstützen: Im ersten Halbjahr 2026 wurden laut Start-up-Verband 3053 neue Firmen gegründet, ein Plus von 52 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum. Und auch wenn sich nicht jeder Neuling langfristig im Markt etablieren wird: »Die Gründungserfahrung bringt jeden Menschen fachlich wie persönlich enorm weiter«, urteilt Florian Bierwirth. Zumindest für ihn gelte: »Meine Lernkurve war noch nie so steil wie in den vergangenen Jahren. Und das kann mir niemand mehr nehmen.«

Aus Forschung wird Wirtschaftskraft

Von der Idee zum Unternehmertum: Seit 25 Jahren begleitet Fraunhofer Venture Forschende und Entrepreneur, die mit Fraunhofer-Technologien die Welt verändern wollen.

Von Beate Strobel

Mehr als 1000 begleitete Ausgründungsprojekte, über 500 Unternehmensgründungen, mehr als 600 Millionen Euro eingeworbenes externes Finanzierungskapital und über 1 Milliarde Euro Rückflüsse: Seit 25 Jahren unterstützt Fraunhofer Venture Forschende dabei, Technologien aus den Laboren der Fraunhofer-Institute in erfolgreiche Unternehmen zu überführen.

Zwischen einer wissenschaftlichen Idee und einem marktfähigen Produkt liegen zahlreiche Herausforderungen. An der Schnittstelle zwischen Forschung und Unternehmertum ist Fraunhofer Venture aktiv. Über Beratungsangebote, Förderprogramme, Beteiligungsmanagement und ein starkes Netzwerk finden Entrepreneur und solche, die es werden wollen, tatkräftige Hilfe für alle Stationen im Ausgründungsprozess.

Unternehmen, die aus der Fraunhofer-Forschungswelt hervorgegangen sind, schaffen nicht nur Arbeitsplätze und erschließen neue Märkte. Sie bringen Zukunftstechnologien in die Anwendung – von Künstlicher Intelligenz über Medizintechnik bis hin zu Energie- und Produktionstechnologien – und beweisen, was

möglich ist, wenn wissenschaftliche Exzellenz auf unternehmerischen Gestaltungswillen trifft.

Loopario GmbH: Transparenz für den Transport

Die Geschichte von Loopario beginnt mit vier Forschern am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund und ihrer Vision, »die ganze Sache mit der Ladungsträgerverwaltung auf den Kopf zu stellen«. Und das ist keine kleine Sache. Weltweit sind rund 10 Milliarden Paletten, Behälter und Gestelle im Umlauf. Gebundenes Kapital, das außerdem bei Verlust, Beschädigung oder ineffizienter Nutzung erhebliche Kosten für ein Unternehmen verursachen kann. Jede einzelne der jährlich 150 Milliarden Warenübergaben zwischen Unternehmen erzeugt Buchungen, Saldenabgleiche, Abstimmungsprozesse und Dokumentation. Selbst im 21. Jahrhundert erfolgt das oft noch auf Zetteln oder über E-Mails, Excel-Listen und isolierte Systeme. Bürokratie, die kostet – Zeit wie Geld.

Als Lösung hat Loopario eine cloudbasierte Softwareplattform für das Management von Mehrweg-Ladungsträgern ent-

wickelt. Sie vernetzt Geschäftspartner weltweit, automatisiert Buchungen und Abstimmungsprozesse und schafft Transparenz hinsichtlich Beständen, Umläufen und Verlusten in Lieferketten. Ziel ist es, Mehrwegsysteme ebenso einfach und effizient nutzbar zu machen wie Einwegsysteme.

Loopario ist das erste »Load Carrier Management System« (LCMS) weltweit. Es übernimmt das Management aller Paletten, Gestelle und Gitterboxen – so wie ein Warehouse-Management-System (WMS) Unternehmen bei der Steuerung ihrer Lagerprozesse unterstützt und ein Transport Management System (TMS) ihre Transportabläufe organisiert. In den fünf Jahren seit der Ausgründung 2021 hat sich die Zahl der Mitarbeitenden auf 25 und die der Kunden auf über 40 erhöht. Dr. Philipp Hüning, Co-Founder und CEO von Loopario: »Unser Ziel ist es, das Ladungsträgermanagement vollständig zu automatisieren und damit den Unternehmen dieses Thema abzunehmen.«

Cellbox Solutions GmbH: Der transportable Inkubator

Wie lassen sich lebende Zellen und Gewebeprobe von A nach B transportieren?

Pharma- und Biotechunternehmen setzen hierfür bislang meist auf Kryokonservierung: Die Kulturen werden an Punkt A tiefgekühlt und bei B wieder aufgetaut. Das Verfahren ist jedoch teuer und kann die Qualität sowie Funktionalität des Zellmaterials beeinträchtigen. Hinzu kommt, dass sich besonders empfindliche Zell- und Gewebestrukturen nur schwer oder gar nicht kryokonservieren lassen.

Cellbox Solutions, ausgegründet 2016 aus der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE (damals Fraunhofer EMB), ersetzt die Kühlketten-Lösung durch die sogenannte »Warm Chain«-Technologie: Empfindliche Zellkulturen werden in mobilen CO₂-Inkubatoren unter kontrollierten physiologischen Bedingungen transportiert. Der geringere Zellstress verbessert nachweislich die Verfügbarkeit des Zellmaterials für medizinische Anwendungen. Von der patentierten Technologie profitieren Zukunftsfelder wie Zell- und Gentherapien, regenerative Medizin, In-vitro-Fertilisation sowie personalisierte Diagnostik und Therapie. Weltweit sind bereits mehr als 300 »Warm Chain«-Inkubatoren in der Pharma- und Biotechnologie, in der Forschung und an Universitäten im Einsatz.

Threedly GmbH: 3D-Datennutzung für alle und überall

Von Augmented Reality über Digitale Zwillinge bis hin zu Smart Factories: All diese Innovationstechnologien basieren auf der schnellen und einfachen Verfügbarkeit von 3D-Daten. Das Start-up Threedly, eine Ausgründung des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD, hat es sich zur Aufgabe gemacht, den industriellen Einsatz von 3D-Daten zu revolutionieren. Das vierköpfige Gründerteam hat hierfür noch am Fraunhofer IGD mit instant3Dhub eine Plattform entwickelt, die selbst riesige digitale Modelle von ganzen Fabriken für nahezu jedes Endgerät nutzbar macht.

»Das erleichtert die Zusammenarbeit aller in die Entwicklung eingebundenen Abteilungen enorm«, erklärt CEO Christian

Stein. »Einer setzt neue Ideen am PC direkt um und alle anderen können die Veränderung am Produkt auf ihrem Bildschirm sofort live in 3D sehen. Das geht megaschnell.«

Zum Kundenstamm der Threedly GmbH zählen inzwischen große Namen aus der Automobilbranche wie BMW, Mercedes, Porsche und VW sowie Konzerne wie Siemens, Trumpf und der französische Energieriese EDF.

Vibrosonic GmbH: Eine Kontaktlinse fürs Ohr

Hörgeschädigte Menschen haben in der Regel zwei Wünsche: wieder richtig gut hören zu können – und dass ihr Handicap für andere möglichst unsichtbar bleibt. Mit der weltweit ersten »Hörkontaktlinse®« will ihnen das Mannheimer Start-up Vibrosonic beide Wünsche erfüllen.

Entwickelt wurde die Technologie von einem Forscherteam der Fraunhofer-Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie PAMB – und das eher nebenbei: Im Rahmen eines Projekts zur Weiterentwicklung implantierbarer Hörgeräte experimentierte das Fraunhofer-Team mit einer Lautsprechertechnologie, die eine schwingende Membran ähnlich dem natürlichen Trommelfell nutzte. Dabei entstand die Idee, diese Mikromembran direkt vor dem Trommelfell einzusetzen – ähnlich wie eine Kontaktlinse vor der eigentlichen Linse im Auge ja auch die Sehkraft korrigiert.

Während konventionelle Hörgeräte als Lautverstärker in der Ohrmuschel oder im Gehörgang arbeiten, haftet die per 3D-Druck passgenau angefertigte »Hörkontaktlinse®« auf dem Trommelfell und erzeugt dort feinste Schwingungen, die nicht indirekt über das Medium Luft, sondern unmittelbar an das Hörsystem übertragen werden. Dadurch geht weniger Information verloren, die Klangqualität steigt. Die akustische Linse kann ohne Operation implantiert werden; der zum System gehörende Klangprozessor sitzt hinter dem Ohr. Und selbst der könnte, wenn es nach dem dreiköpfigen Gründerteam von Vibrosonic geht, in einer der nächsten Produktlinien

ganz im Gehörgang liegen. Und Betroffene dann wunschlos glücklich machen.

Nicoustic AS: Mehr Einblick von außen

Auf Öl- und Gasplattformen, in Chemieanlagen oder großen Prozessbehältern müssen die verantwortlichen Fachkräfte jederzeit wissen, wie viel Flüssigkeit sich im Inneren befindet. Einfach den Deckel aufmachen und hineinschauen? Das ist nicht möglich, wenn die Behälter unter hohem Druck stehen, sehr groß sind oder schwer zugänglich. Messsysteme im Inneren des Behälters sind aufgrund von Verschleiß, Korrosion oder Ablagerungen meist keine Alternative.

Nicoustic misst den Füllstand eines Behälters, ohne diesen zu öffnen und ohne Sensoren im Inneren zu installieren. Stattdessen werden Sensoren außen an der Behälterwand angebracht. Von dort senden sie spezielle Ultraschallsignale in das Material des Behälters und analysieren, wie diese Wellen zurückkommen. Je nachdem, ob sich hinter der Wand Luft, Wasser, Öl oder eine andere Substanz befindet, verändert sich das Signal. Daraus kann das System berechnen, wo genau sich die Oberfläche der Flüssigkeit befindet – während die Anlage ungestört weiterläuft.

Die Technologie basiert auf Forschungsarbeiten des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS zu sogenannten geführten Ultraschallwellen – ursprünglich mit dem Ziel, lange Rohrleitungen auf Schäden zu überwachen. Als der norwegische Energiekonzern Equinor beim Fraunhofer IKTS nach Optionen anfragte, Füllstände in geschlossenen Druckbehältern zuverlässig und ohne Eingriff in die Anlage zu messen, entstand die Idee, die vorhandene Fraunhofer-Technologie hierfür anzupassen.

2022 wurde Nicoustic in Norwegen ausgegründet. Fraunhofer Venture begleitete diesen Schritt nicht nur, Fraunhofer beteiligte sich auch am Unternehmen – ein Beispiel dafür, was durch die Zusammenarbeit von Kundenbedürfnis, Spitzentechnologie und professionellem Gründungsmanagement entstehen kann. ■

Reststoff? Ressource!

Eine blockierte Meerenge, Lieferkettenengpässe, drohende Ernteaufschläge – der Zugang zu Düngemitteln ist eingeschränkt, die globale Abhängigkeit groß. In vier Projekten entwickeln Fraunhofer-Forschende Lösungen für eine sichere Versorgung.

Von Yvonne Weiß



Aber bitte mit Banane:
Forschende werten
Bioabfälle auf und nutzen
sie für neue Düngemittel.

Auf den ersten Blick ist es eine braun gefleckte Bananenschale, die niemand mehr braucht. Es sind große Mengen an Abwasser und Gülle, die entsorgt werden müssen. Oder scheinbar wertlose Abfälle in einer Hanffaserfabrik. Doch für die Fraunhofer-Forschenden Dr.-Ing. Antoine Dalibard, Michael Bohn, Dr.-Ing. Esther Stahl und Dr. Melanie Iwanow ist all das der Beginn von etwas Neuem. Etwas, das die Lebensmittelversorgung von morgen sichert. Und: ein großes Stück mehr Unabhängigkeit.

Der Bedarf nach Düngemitteln ist groß. Die Abhängigkeit? Ebenso: Bis zu 40 Prozent des weltweit gehandelten Stickstoffdüngers müssen durch die Straße von Hormus. Auch dadurch ist der Preis für Stickstoffdünger in Europa seit Anfang 2022 um etwa 40 Prozent gestiegen.

Die Folgen: Weniger Dünger wird ausgebracht, Ernteerträge sinken. Infolge der Blockade der Wasserstraße sind etwa 45 Millionen Menschen mehr von Hunger bedroht. Selten war der Bedarf an Düngemitteln so akut. Dazu kommt: Von 2022 an sind Kläranlagenbetreiber gesetzlich

Infolge der Blockade der Wasserstraße sind etwa **45 Millionen Menschen** mehr von Hunger bedroht.

verpflichtet, den Pflanzennährstoff Phosphor zurückzugewinnen. Eine Lösung: braucht es dringend.

In Paris hat Dr.-Ing. Antoine Dalibard für das Projekt »Cométha« mit Partnern eine Pilotanlage errichtet. Der Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB wandelt Bioabfälle gemeinsam mit Klärschlamm effizient zu Methan um und isoliert Stickstoff und Phosphor. Die Quelle für den neuen Dünger: eine große Ladung Bioabfälle und jede Menge Abwasser aus der Region.

Zuerst wird der Biomüll, aus dem die Forschenden vorab unerwünschte Abfälle wie Kunststoff entfernt haben, zum Klärschlamm hinzugefügt. Danach wird dieses Gemisch einer Fest-Flüssig-Trennung unterzogen: Die Flüssigkeit wird zunächst gereinigt und aufbereitet. Anschließend isolieren die Fraunhofer-Forschenden daraus die gewünschten Nährstoffe. »Im ersten Schritt extrahieren wir Phosphorsalze in Form von Struvit, im zweiten Stickstoff als Ammonium-Sulfat-Lösung«, sagt Dalibard, »beides können wir später als Dünger verwenden. Der Feststoff wird zudem in der Anlage getrocknet und schließlich zur Produktion von Biogas genutzt.« Diese Wiederaufbereitung von gemischten Abfällen ist ein Novum und wegen ihrer Heterogenität besonders herausfordernd.

Rohstoffe regional rückgewinnen

In Stuttgart möchte auch Michael Bohn, Antoine Dalibards Kollege am Fraunhofer IGB, aus einer trüben Brühe Wertvolles ziehen. Mithilfe einer Aufbereitungsanlage will Bohn ebenfalls Phosphor, Kalium und Stickstoff rückgewinnen, um sie als Basis für neue Düngemittel zu nutzen. Sein Augenmerk liegt dabei allerdings nicht auf Abwasser, sondern der Landwirtschaft. Genauer gesagt: Gülle, Gärresten und einer Biogasanlage.

»Im Projekt »Innovatives Güllemanagement« (PIGM) schaffen wir ein ganzheitliches Konzept ohne Abfallstoffe, mit dem wir Landwirten das Düngen erleichtern und sie Nährstoffe gezielt ausbringen können«, erklärt Projektleiter Bohn. »So scho-

»Mit unserem Verfahren schonen wir nicht nur Klima und Umwelt, wir reduzieren auch globale Abhängigkeiten.«

Michael Bohn, Fraunhofer IGB

nen wir nicht nur Klima und Umwelt, wir reduzieren auch globale Abhängigkeiten.« Bereits im Vorgängerprojekt BioEcoSIM haben der Wissenschaftler und sein Team ein Konzept zur Extraktion von Phosphor entwickelt. Darauf bauen die Forschenden auf und möchten neben Phosphor nun auch Kalium und Stickstoff rückgewinnen – in ein und derselben Anlage.

Die einzelnen Prozessschritte haben Bohn und seine Kolleginnen und Kollegen im Labor simuliert: Nach Anlieferung von Hühnerkot und Schweinegülle wird beides, wie in einer Biogasanlage, zunächst vergoren. Aus dem entstandenen Slurry – einem Schlamm, der aus Feststoffen und Flüssigkeit besteht – lassen sich anschließend die Nährstoffe gewinnen: Um den Großteil des Phosphors zu lösen, der an den festen Partikeln im Schlamm hängt, säuern die Forschenden die Mischung zunächst an. Anschließend wird die Masse separiert: Während sich die Feststoffe als Kompost nutzen lassen, wird Phosphor mithilfe von Lauge aus der Flüssigkeit isoliert. Das Ergebnis: getrocknete Phosphorsalze, die aussehen wie Kandiszucker, sich direkt nutzen lassen und unbedenklich für die Umwelt sind. Auch ihre Lagerung ist unkompliziert. Damit lösen die Salze gleich zwei Herausforderungen: Weil Gülle bislang direkt auf dem Acker ausgebracht wird, drohen Überdüngung und eine erhöhte Schwermetallbelastung im Boden. Da sie aus etwa 90 Prozent Wasser besteht, sind Lagerung und Transport der Gülle

bisher zudem teuer, ihre Ausbringung wenig effizient.

Die verbleibende Flüssigkeit wird anschließend gefiltert. Dank Membranen und zugesetzter Säure lässt sich daraus schließlich Stickstoff extrahieren – und ebenfalls für neue Düngemittel nutzen. Das übrige Wasser, das nun lediglich Kalium enthält, kann zum Gießen und zur Verbesserung des Bodens dienen.

»Besonders Phosphor kommt meist aus Krisengebieten, für die Herstellung von synthetischen Stickstoffdüngern werden außerdem etwa ein bis zwei Prozent der globalen Energieproduktion benötigt«, so Michael Bohn. »Unser Verfahren bietet Energie aus der Biogasanlage sowie lokale Rückgewinnungsmöglichkeiten – und birgt damit enormes Potenzial, Spannungen zu vermeiden, Energie einzusparen und mehr Unabhängigkeit zu gewinnen.«

Vom Klärwerk ins Gewächshaus

Für das Ziel einer unabhängigen Landwirtschaft, die künftig auch in Städten ausreichend frisches, heimisches Gemüse produziert, arbeitet gut 400 Kilometer entfernt Dr.-Ing. Esther Stahl im Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei ein spezielles Düngemittel für Indoor-Farmen. Und auch diesmal: Kläranlagen.

Im Projekt SUSKULT wandeln die Leiterin der Abteilung Circular Water and Biomass Utilization und ihr Team nährstoffreiches Schlammwasser aus Kläranlagen in regionalen Flüssigdünger um. Dieser enthält Stickstoff, Phosphor und Kalium – zentrale Bausteine für Nährlösungen, mit denen künftig Karotten, Salat oder Süßkartoffeln in urbanen Indoor-Farmen hydroponisch wachsen können – in Anbausystemen also, die ohne Erde auskommen und in denen Pflanzen direkt in einer nährstoffreichen Wasserlösung gedeihen.

Um den globalen Nahrungsmittelbedarf zu decken und gleichzeitig die Umweltauswirkungen der Landwirtschaft zu minimieren, müssten Nährstoffe und Wasser in der Pflanzenproduktion effizient genutzt werden, so Esther Stahl: ►

»Kläranlagen der Zukunft sollen nicht mehr nur zur Behandlung von Abwasser dienen, sondern vielmehr zu Ressourcenternen werden, um all das zu liefern, was Pflanzen zum Wachsen brauchen – Nährstoffe, Wasser, CO₂ und Energie.«

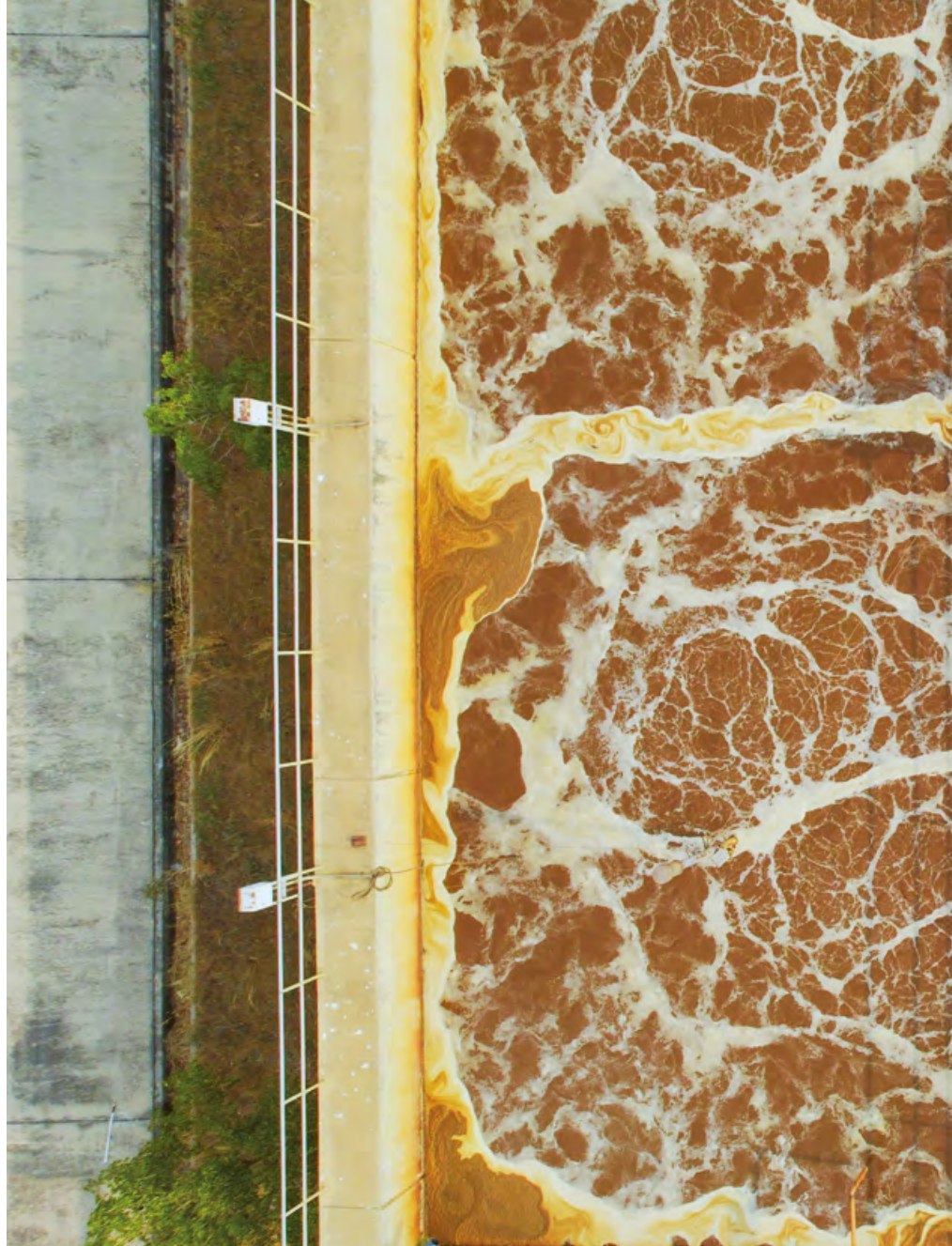
Die zentrale Herausforderung: Während die meisten herkömmlichen Rückgewinnungsverfahren feste Düngeprodukte für den Ackerbau liefern, benötigt ein Anbau ohne Erde partikelfreie, sehr gut lösliche und möglichst reine Nährlösungen. Vor allem Stickstoff muss überwiegend als Nitrat vorliegen, damit Pflanzen ihn aufnehmen können. Eine Analyse mehrerer beteiligter Projektpartner zeigte, dass sich mit herkömmlichen Verfahren bislang weniger als 12 Prozent der erforderlichen Nährstoffe zurückgewinnen lassen.

Hier setzen die Fraunhofer-Forscher mit ihrem NEWtrient-Verfahren an: In einem Membranbioreaktor wird das nährstoffreiche Schlammwasser zunächst aufbereitet und mithilfe von Mikroorganismen der enthaltene Anteil an Ammoniumstickstoff in Nitratstickstoff umgewandelt. Dank spezieller Filter entsteht so ein klarer, nitrathaltiger Strom.

Um eine Lösung zu erhalten, die Pflanzen ausreichend versorgt, nutzten die Forscher anschließend eine Kombination aus klassischer Elektrodialyse und einer modifizierten Mixed-Stack-Elektrolyse: ein Verfahren, mit dem sie Nährstoffe aufkonzentrieren und das Verhältnis verschiedener Stoffe einstellen können. So lässt sich etwa festlegen, wie viel Kalium und Nitrat in der Lösung enthalten sind. Ein entscheidender Vorteil, da verschiedene Pflanzen unterschiedliche Mengen an Nährstoffen zum Wachsen benötigen.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen: Die neue Methode versorgt die Pflanzen mit ausreichend Nitrat und kann mehr als die Hälfte der normal benötigten, energieintensiven Düngemittel durch recycelte Nährstoffe ersetzen – etwa fünf Mal mehr als bisher. Zudem entfernt sie gut 90 Prozent der unerwünschten Stoffe, wie organische Verbindungen.

In der aktuellen Projektphase möchten die Forschenden neben Ressourcen aus



Kläranlagen auch andere Stoffe wie Gärreste nutzen sowie das Verfahren weiter optimieren.

Esther Stahl ist begeistert: »Unsere Lösung hilft dabei, Stoffkreisläufe weiter zu etablieren und Wasser-, Land- und Kreislaufwirtschaft eng miteinander zu verzahnen. Damit leisten wir einen wichtigen Beitrag für eine resiliente Nährstoff- und Nahrungsmittelversorgung von morgen.«

Maßgeschneidert düngen

Stoffkreisläufe schließen, das möchte auch Dr. Melanie Iwanow, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institutsteil des

Fraunhofer IGB in Straubing. Im Projekt HanAkku-M entwickelt sie mit ihren Kollegen ein biobasiertes Düngemittel, das biologisch abbaubar ist und sich ressourcenschonend herstellen lässt: »Unser maßgeschneiderter Dünger versorgt die Pflanze ausschließlich mit den notwendigen Nährstoffen und in den Mengen, die sie tatsächlich benötigt.«

Gemeinsam mit ihren Kollegen Dr. Michael Richter und Dr. Steffen Roth möchte die Chemikerin so eine Überdüngung verhindern – und damit Nutzpflanzen und Biodiversität stärken, die Boden- und Trinkwasserqualität verbessern sowie die Nitratbelastung senken.



Nichts als trübe Brühe?
Abwasser aus Kläranlagen enthält wertvolle Pflanzennährstoffe wie Phosphor.

Die neue Methode kann **mehr als die Hälfte** der normal benötigten, energieintensiven Düngemittel durch recycelte Nährstoffe ersetzen – etwa fünf Mal mehr als bisher.

ze benötigt. Im Labor werden diese Stoffe anschließend mithilfe sogenannter Deep Eutectic Solvents (DESs) gelöst: eines umweltfreundlichen Mittels, das durch das Mischen von Feststoffen und einer anschließenden moderaten Temperaturerhöhung eine Flüssigkeit bildet. Mit den gelösten Nährstoffen beladen die Forschenden nun die Schäben des Hanfstängels. Die absorbierten Stoffe lassen sich später kontrolliert freisetzen – und die jeweilige Pflanze damit bedarfsgerecht versorgen.

»Sind die Nährstoffe nach einiger Zeit gelöst, steht im Mikroporenengerüst der Hanfschäben wieder Platz zur Verfügung, und es kann als Wasserspeicher für den Boden dienen. Gerade während Dürreperioden ist das ein entscheidender Vorteil«, so Melanie Iwanow. Im letzten Schritt findet die Zersetzung des Düngemittels statt, wobei es zusätzlich einen Beitrag zur Humusbildung leistet.

Das neue Produkt soll künftig eine biobasierte Alternative zu Langzeitdüngern werden, die eine vergleichbare Wirkung erzielt, dabei allerdings keine schädlichen Abbauprodukte wie Mikroplastik im Boden hinterlässt. Mit dem neuen Dünger haben die Forschenden bereits erfolgreich Paprika-Pflänzchen gezogen. Aktuell fehlen Melanie Iwanow und ihre Kollegen an der finalen Rezeptur, damit sich die Inhaltsstoffe möglichst langsam und gezielt freisetzen lassen. Dann kann der Dünger auch Hobbygärtnern helfen – effizient, nachhaltig und umweltfreundlich. ■

»Unsere Lösung hilft dabei, Stoffkreisläufe weiter zu etablieren und Wasser-, Land- und Kreislaufwirtschaft eng miteinander zu verzahnen.«

Dr.-Ing. Esther Stahl,
Fraunhofer UMSICHT

Die Basis für den umweltfreundlichen Dünger? Das Innere von Hanfschäben-Stängeln, die als Nebenprodukt in Hanffaserfabriken anfallen und bislang nur eingeschränkt als Tierstreu weiterverwendet werden. Iwanow und ihre Kollegen verschaffen den Abfällen ein zweites Leben: »Wegen ihrer hochporösen Mikrostruktur und Materialbeschaffenheit können Hanfschäben etwa das Vierfache ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Diese Eigenschaft wollen wir nun auf neue biobasierte Lösungsmittel übertragen«, so die Forscherin.

Dafür identifiziert das Team zunächst die Nährstoffe, die eine bestimmte Pflanze

Den Krisen einen Schritt voraus

Fünf Jahre nach der Flut im Ahrtal: Ein interdisziplinäres Forschungsteam nutzt die Erfahrungen aus der Katastrophe, um die Resilienz von Behörden und Organisationen zu stärken und Deutschland besser auf künftige Notlagen vorzubereiten.

Von Beate Strobel



Sommer 2021: Die Jahrhundertflut machte das Ahrtal (Foto: Altenahr) zum Katastrophengebiet.

Auf den laminierten Fotos ist nichts als Zerstörung zu sehen. Steffen Lensing vom Landesverband Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland des Technischen Hilfswerks (THW) reicht die Bilder durch den Bus: Häuser, die bis zum Dach unter Wasser stehen. Brücken, von denen nur noch Ruinen übrig sind. Straßen, die in einen Abgrund münden. Und Dörfer, die im Schlamm versinken. Als eine »Chronik des Schreckens« bezeichnet einer der Teilnehmer der Ahrtal-Exkursion die Bildersammlung, als er sie Lensing zurückgibt. Doch der THW-Mann widerspricht: »Die wahre Chronik des Schreckens haben wir weggesperrt. Die können wir niemandem zumuten.«

Gut 35 Menschen sind der Einladung des THW und des Projekts RESKON ins Ahrtal gefolgt: Mitarbeitende des Technischen Hilfswerks, der Feuerwehr oder des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), aber auch Fraunhofer-Forschende sowie ein Wissenschaft-

ler der Technischen Hochschule Wildau bei Berlin. Viele von ihnen halfen während der Flutkatastrophe im Juli 2021 direkt vor Ort und unterstützen die Menschen in der Region bis heute bei der Beseitigung der Folgen. Vereint im Forschungsprojekt RESKON wollen sie unter anderem auf Behördenebene Fähigkeitslücken aufdecken, damit sich ein solches Desaster nicht wiederholen kann.

Der Rekordregen, den das Tiefdruckgebiet »Bernd« damals in Teile von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen brachte, gilt als eine der schlimmsten Naturkatastrophen der deutschen Geschichte. In der besonders betroffenen Ahrtalregion fielen binnen 24 Stunden bis zu 150 Liter Regen pro Quadratmeter – mehr als das Doppelte der üblichen Menge für den gesamten Monat Juli. Über 180 Menschen verloren in den Sturzfluten ihr Leben, Tausende Menschen ihr Zuhause, ihr Hab und Gut, ihre Existenzgrundlage. Für das THW wurde das Extremwetterereignis zum bislang größten Einsatz in seiner mehr als 70-jäh-

rigen Geschichte: Wochenlang waren pro Tag mehr als 4100 Einsatzkräfte aus allen 668 THW-Ortsverbänden im Bundesgebiet damit beschäftigt, Menschen zu evakuieren, nach Vermissten zu suchen, die Trinkwasserversorgung wieder herzustellen, Notunterkünfte zu errichten, Behelfsbrücken aufzubauen und einsturzgefährdete Bauwerke abzustützen.

Was von der Flut bleiben muss

Der Staat muss aus solchen Ereignissen lernen, um die Bevölkerung wirksam schützen zu können: Dieses Ziel formulierte das Bundesinnenministerium in seinem Abschlussbericht zur Hochwasserkatastrophe 2021. RESKON wolle hierzu beitragen, erklärt Dr. Maike Vollmer, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE. Seit dem Start im Oktober 2024 koordiniert die Geografin das Projekt. Bis 2027 soll ein modularer Werkzeugkoffer entstehen, mit



Sommer 2026: Der Schutt ist weggeräumt, vieles wieder aufgebaut – doch längst nicht alles.

dem Behörden nicht nur ihre aktuelle Resilienz gegenüber Krisen messen, sondern auch kontinuierlich verbessern können.

Denn bislang fehlt ein gesicherter Überblick darüber, wie krisenfähig deutsche Behörden tatsächlich sind und wie effektiv Organisationen im Notfall kooperieren. Und das angesichts der Tatsache, dass Bedrohungslagen tendenziell häufiger, größer und komplexer werden – nicht nur durch Extremwetterereignisse, sondern auch durch Pandemien oder geopolitische Verschiebungen. RESKON will eine praktikable Roadmap aufzeigen für mehr Resilienz.

Der Exkursions-Bus stoppt in Altenahr, eine der Ortsgemeinden, die von der Flut besonders schwer getroffen wurden: Sieben Menschen starben hier, 80 Prozent der Häuser wurden beschädigt. Die Bundesstraße, die durch das enge Ahrtal führt, wurde hinter einem Straßentunnel von den Wassermassen komplett weggerissen. An der Stelle, an der fleißig am Wiederaufbau der Brücke Richtung Reimerzhoven gearbeitet wird, gibt Benjamin Lickert vom

Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, einen Einblick in das Projektmodul. Der Informatiker will die Resilienz von Behörden und Organisationen quantifizierbar machen. Dafür hat er Digitale Zwillinge von Beispiel-Behörden und Organisationen wie Feuerwehr, Rettungsdienst, THW, Polizei und kommunaler Verwaltung entwickelt, um so wichtige Faktoren wie Prozessrobustheit, Reaktionsgeschwindigkeit oder Bewältigungsfähigkeit für ausgewählte Krisensituationen simulieren zu können: Was passiert, wenn bei einem Waldbrand nur 20 Feuerwehrkräfte zur Verfügung stehen – und wie sieht es aus, wenn 100 akquiriert werden können? In welcher Zeit sollten diese idealerweise am Einsatzort ankommen – und gibt es überhaupt ausreichend Löschgeräte für sie?

»Auch Eventualitäten wie fehlende Kommunikationskanäle durch Zusammenbruch des Internets oder Unterbrechung der Befehlskette lassen sich hier virtuell durchspielen, um daraus wieder notwendige Maßnahmen abzuleiten«, erklärt Li-

ckert. Über den Digitalen Zwilling einer Behörde soll eine Art Resilienzquote pro Gemeinde entstehen, anhand derer diese vergleichbar und Schwachstellen aufgedeckt werden, bevor der Ernstfall eintritt. Simuliert werden kann auch, inwiefern sich die Resilienzquote verändert durch Variablen wie »Unterstützung benachbarter Behörden in Zeit X« oder »Reserve von Ressource X erhöhen«.

Resilienz braucht mehr Miteinander

Echte Krisen lassen sich in der Regel nicht im Alleingang bewältigen: Das ist den Behörden, Einsatzorganisationen und Verwaltungen in der Ahrtal-Katastrophe deutlich vor Augen geführt worden. Um aus ihren Erfahrungen zu lernen, wurden im Rahmen von RESKON Vertreter verschiedener Organisationen zur behördlichen Kooperation befragt. »Köpfe kennen«, ist einer der Lehrsätze, die auch bei der Ahrtal-Exkursion immer ►



Das Fotoprojekt »We AHR strong« des niederländischen »Museum of Humanity« porträtiert Menschen wie Kai, deren Leben durch die Flut radikal verändert wurde.

wieder genannt werden. Maike Vollmer: »Im Krisenfall sollte man nicht lange nach den verantwortlichen Menschen suchen müssen, sondern zu diesen idealerweise bereits ein Vertrauensverhältnis aufgebaut haben.«

Möglich wird dies etwa durch regelmäßige organisationsübergreifende Übungen und spezielle Austauschmöglichkeiten wie Arbeitsgruppen. Vollmer: »Außerdem haben Verwaltung, polizeiliche und nicht-polizeiliche Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, Militär und andere Helfende unterschiedliche Termini und Logiken.« Gemeinsame Formate würden die Kommunikation im Ernstfall erleichtern. Damit solche Zusammenkünfte stattfinden und langfristig beibehalten werden, ist die Unterstützung der Leitungsebene zwingend nötig.

Aktuell finden Maßnahmen zur Optimierung der Kommunikation nur einzeln statt. Damit sich das ändert, soll in RESKON unter Leitung des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein Kooperationscheck für Be-

hörden entstehen, der nicht nur den Status quo ermitteln, sondern vor allem auch konkrete To-dos für Verwaltungen und Behörden beinhalten soll.

Dafür, dass die einzelnen Arbeitspakete innerhalb von RESKON verzahnt werden, ist der Kooperationspartner complete Consulting zuständig. Der Job des Beratungsunternehmens liegt darin, die notwendigen Veränderungen schnell in die Umsetzung zu bringen und das Bewusstsein für Themen der Resilienz in den Verwaltungen, Organisationen und Behörden nachhaltig zu implementieren. »Ein sogenannter »Kontinuierlicher Verbesserungsplan« – kurz KVP – soll garantieren, dass alle Akteure aus den Erfahrungen in Übungen und realen Kriseneinsätzen immer wieder dazulernen«, so Maike Vollmer. Und so dazu beitragen, dass Resilienz nicht verstanden wird als etwas, das man einmal erreicht hat und sich danach von selbst erhält. Sondern tatsächlich ein Prozess ist, der immer wieder von allen Behörden beobachtet, geprüft, verbessert und organisatorisch neu verankert werden muss. ■

Pro Tag
 waren mehr
 als **4100**
 Einsatzkräfte
 aus allen
668 THW-
 Ortsverbänden
 im Einsatz.



Robust, schnell wachsend und biologisch abbaubar: Gerade Baupilze sind spannend für die Materialforschung.

Wenn Pilze zu Baustoffen werden

Im FungiFacturing®Lab des Fraunhofer UMSICHT in Dortmund wachsen Pilze zu Dämmplatten und Schallabsorbern heran.

Von Kathrin Schwarze-Reiter

Es riecht nach Waldboden, nach feuchtem Holz, nach Dachboden. In Kunststoffsäcken, die in Klimakammern stehen, wuchert weißes, feines Geflecht durch Strohhäcksel und Sägespäne. Es spannt seine Fäden, bis sich die Reststoffe in ein zusammenhängendes Etwas verwandelt haben. Was hier im FungiFacturing®Lab des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Dortmund entsteht, sieht aus wie eine Mondlandschaft im Miniaturformat oder wie ein gut durchgereifter Camembert – und ist doch nichts anderes als das Skelett eines Pilzes. Und womöglich das Baumaterial der Zukunft.

Biologin Lina Vieres kennt diesen Moment gut, in dem Besucherinnen und Besucher zum ersten Mal vor einer Kiste mit Myzelmaterial stehen: Erst das vorsichtige Antippen, dann das überraschte Lächeln, weil sich das Ma-

terial weich, fast flauschig anfühlt. »Die meisten denken bei Pilzen im Bau erst mal an Schimmel oder Hausschwamm, an einen lebenden Organismus, der sich durch das Haus frisst«, sagt die Mitarbeiterin der Abteilung Carbon Utilization and Mineralization am Fraunhofer UMSICHT. Dabei ist das Myzel im fertigen Werkstoff längst abgetötet: Es kann keine Fruchtkörper mehr bilden und wächst nicht weiter. Die Angst vor giftigen Pilzen und Schimmelbefall sitzt tief. Doch genau jenes Wachstum, das viele fürchten, ist der eigentliche Clou der Sache.

Eher Tier als Pflanze

Was Vieres an Pilzen fasziniert, ist diese unterschätzte Bauleistung. Pilze sind keine Pflanzen, sondern ein eigenes Reich der Natur, näher mit Tieren verwandt ►

als mit Bäumen oder Gräsern. Ihre Zellwände bestehen unter anderem aus Chitin, demselben stabilen Material, aus dem auch Insektenpanzer gemacht sind – das macht ihr Geflecht von Natur aus robust. Verwendet werden vor allem holzabbauende Arten, umgangssprachlich Baumpilze genannt, die mit einem ganzen Arsenal an Enzymen Lignin und Zellulose zersetzen können: der Glänzende Lackporling, wissenschaftlich *Ganoderma lucidum*, geschätzt für seine besonders stabile, dichte Myzelstruktur. Oder der schnell wachsende Austernseitling sowie der Zunderschwamm, der einst als Zunder für Feuersteindienste und heute für seine widerstandsfähige, lederartige Struktur bekannt ist. »Diese Pilze haben in Jahrmillionen gelernt, alle möglichen Substrate als Nahrungsquelle für sich zu verwenden«, sagt Vieres. »Wir nutzen im Grunde nur, was sie ohnehin am besten können.« Wo andere Menschen im Wald nach Speisepilzen suchen, sammelt die Biologin deshalb Inspiration für neue Materialien: Sie krieche gern in Gebüsche, um seltene Baumpilze zu fotografieren, erzählt sie, und schließt im kommenden Jahr ihre Weiterbildung zur Fachberaterin für Mykologie ab. Vieres lacht: »Mein Freundeskreis wundert sich schon lange nicht mehr darüber.«

Welcher Pilz zum Einsatz kommt, hängt immer von der gewünschten Anwendung ab: Soll das Material besonders stabil sein, besonders leicht, oder soll es vor allem schnell fertig werden? Manche Arten durchwachsen ein Substrat in wenigen Tagen, andere brauchen Wochen, bilden dafür aber ein dichteres, belastbareres Netzwerk. Diese Vielfalt macht Pilze zu einem erstaunlich anpassungsfähigen Baustoff-Baukasten – je nach Art, Substrat und Wachstumsbedingung entstehen ganz unterschiedliche Materialien aus ein und demselben Grundprinzip.

Vom Mitmachlabor zur Forschungsinnovation

Dass in Dortmund überhaupt an Pilzwerkstoffen geforscht wird, war nicht von Anfang an geplant. Das heutige FungiFactoring®Lab ist aus der »Dezentrale« hervorgegangen, einem offenen Mitmachlabor in Dortmund, organisiert vom Fraunhofer UMSICHT im Projekt LUZI »Labor für Zukunftsfragen«, in dem Menschen mit ganz unterschiedlichen Ideen an eigenen Projekten arbeiten konnten – von der Elektrowerkstatt über Lasercutter und 3D-Drucker bis zu einem kleinen Bio-Bereich. Pilze waren dort zunächst nur eine von vielen Nischen, eingebracht von einer Kollegin aus dem Designbereich: Julia Kraye, ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Fraun-

hofer UMSICHT in der Abteilung Nachhaltigkeit und Partizipation. Aus dieser Nische ist ein eigenständiges, ernst zu nehmendes Forschungsfeld geworden.

Lina Vieres war von Anfang an dabei: Ihre Bachelorarbeit widmete sie der Nutzung von Myzel als Wärmedämmung. Zu diesem Zeitpunkt gab es kaum wissenschaftliche Literatur zum Thema, sie musste sich vieles selbst erarbeiten. Heute sind es Hunderte Publikationen – ein Beleg dafür, wie schnell sich das Forschungsfeld weltweit entwickelt hat. Auch Vieres' eigene Position hat sich seither verschoben: Die Forscherin wechselte von der Gruppe »Nutzerzentrierte Technikgestaltung« in die Gruppe »Building Materials« – ein kleiner organisatorischer Schritt, der die neue, deutlich technischere Ausrichtung der Fungi-Forschung widerspiegelt.

Mit dem Wachstum kam auch eine strukturelle Veränderung: Der praktische Fertigungsbereich, das eigentliche FabLab, wurde zum Fraunhofer UMSICHT nach Oberhausen verlagert. Im Dortmunder Labor arbeiten seither zwei Personen an vorderster Front: Lina Vieres und die studentische Hilfskraft

Jasper Albin. Klingt nach wenig für ein Forschungsfeld mit so viel Zukunftspotenzial, doch im Hintergrund ergänzt ein großes Netzwerk das Kernteam. Der ganze Wissenschaftsbereich wird von der Gruppe Building Materials getragen, darunter eine Designerin, ein Techniker, ein Laborant, ein Materialwissenschaftler und ein Chemieingenieur. Und auch das zentrale Forschungsmanagement des Instituts unterstützt rund um Transferfragestellungen und Industriekontakte. Für Analytik, Funktionalisierung und Formenbau kann Vieres auf die Werkstätten und Labore am Standort Oberhausen zurückgreifen: Dort werden Abbaubarkeit, Brandschutzverhalten, Wärmeleitfähigkeit sowie Zug- und Druckfestigkeit der Materialien geprüft, ebenso deren Ökobilanz.

Die Fraunhofer-Institute, die schon länger im Bereich Myzelmaterial-Forschung unterwegs sind, beleuchten das Thema aus unterschiedlichen Gesichtspunkten und Fachrichtungen. »Es wäre wünschenswert, ein Fraunhofer-Netzwerk zu bilden, um das wissenschaftliche Arbeiten an Myzelmaterial gemeinsam etwa mithilfe einer Förderung zu pushen und die Kompetenzen zu bündeln«, sagt Vieres. »Myzel als Dämmstoff wurde beispielsweise bereits in dem Fraunhofer-Gesellschaft-Leitprojekt »Bau DNS« bearbeitet.« Das hierbei entstandene, vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE entwickelte und vom Fraunhofer UMSICHT mit Myzel und Hanf gedämmte Solar-Fassadenmodul hatte auf der BAU 2025 in München großen Anklang gefunden.

Ihre Vielfalt macht
Pilze zu einem
erstaunlich
anpassungsfähigen
Baustoff-Baukasten.



Vom Reststoff zum Schallabsorber

Doch wie wird eigentlich aus Stroh, Sägespänen oder Altpapier ein fester Werkstoff? Der Prozess beginnt mit der Wahl des passenden Substrats. Infrage kommen die unterschiedlichsten lignozellulosehaltigen Reststoffe und nachwachsenden Rohstoffe: Holzspäne, Stroh, Altpapier, aber auch Rohwolle und andere Fasern. Alles, was eigentlich nicht mehr gebraucht wird, dem Pilz aber gut schmeckt. Je nach gewünschter Materialeigenschaft mischt das Team mineralische Zusätze wie Vermiculit unter, etwa um den Brandschutz oder das Feuchtigkeitsverhalten zu verbessern.

Das Substrat wird zunächst angerührt, sterilisiert oder teilsterilisiert, damit sich später keine unerwünschten Konkurrenzorganismen breit machen, und anschließend mit Pilzkulturen beimpft, etwa als Flüssigkultur oder Körnerbrut. In Säcken oder Formen inkubiert das Substrat dann unter kontrollierten Bedingungen, bis das Myzel es

vollständig durchwachsen hat. Am Ende wird es in Form gebracht und bei höheren Temperaturen getrocknet. Dieser letzte Schritt tötet das Myzel endgültig ab und stabilisiert das Material – aus einem lebendigen Organismus wird ein fester, formstabiler Werkstoff.

Im Projekt FungiFactoring®, das von 2019 bis 2021 lief, hat das Projektteam bereits mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP eine Reststoffpaste entwickelt, die mit einem Keramik-3D-Drucker in Form gebracht und vom Pilz durchwachsen werden kann. Im Inkubationsschrank durchdringt das Myzel das gedruckte Objekt, bis es steinhart geworden ist. Herausgekommen sind dabei vor allem Schallabsorber – Bauteile, die Räume akustisch beruhigen und dabei aus Sägespänen, Bier-Treber oder Stroh bestehen.

Die Materialeigenschaften können sich sehen lassen: Myzelwerkstoffe sind oft leichter als klassische Baustoffe, lassen sich flexibel in Form bringen, sind druckfest und wirken sowohl thermisch als auch akustisch isolierend. In Tests erreichten sie eine ähnliche Wärmeleitfähigkeit wie herkömmliche Holzfaserdämmplatten – ein starkes Argument gegenüber konventionellen, erdölbasierten Dämmstoffen.

Zwischen Faszination und Skepsis

Dass Pilzwerkstoffe noch nicht in jedem Baumarkt stehen, liegt weniger an ihren Eigenschaften als an ihrer

Marktreife. Der Flaschenhals ist derzeit die Produktion: Erst kontinuierliche, automatisierte Prozesse machen Myzelmaterialien industriell und wirtschaftlich interessant. In Asien gibt es solche Verfahren bereits – sie könnten als Vorbild für Europa dienen.

Auch die tendenziell eher konservative Baubranche macht eine schnelle Markteinführung herausfordernd, ebenso der niedrige Preis etablierter Konkurrenzprodukte wie Styropor. »Wären neue Materialien und Forschungsansätze immer zugunsten bestehender, skaliert und damit kostengünstigerer Lösungen verworfen worden, wäre die Menschheit technisch wohl nicht sehr weit

gekommen«, sagt Vieres. »Erst ein echtes Umdenken zu nachhaltigeren Baustoffen und deren ökonomischer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus hinweg könnte die Pilzdämmung bekannter machen.« Helfen würden auch größere Pilotprojekte, etwa eine mit Myzel gedämmte Hauswand, die über zehn Jahre unter realen Bedingungen beobachtet wird – aufwendig, aber vertrauensbildend. »Wünschenswert wäre ein Reallabor, zum Beispiel ein

Haus, in dem man Dämmstoffe und andere Pilzwerkstoffe ausgiebig über einen langen Zeitraum beobachten kann«, sagt die Biologin. Passend hierzu hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG inzwischen den Sonderforschungsbereich MY-CO Build ins Leben gerufen für grundlagenorientierte Forschung.

Um Vorurteile abzubauen und Berührungspunkte zu nehmen, setzt das Team auch auf Wissenschaftskommunikation. Im Projekt FungiFactoring®Art, gefördert vom Netzwerk für Wissenschaft, Kunst und Design (WKD) der Fraunhofer-Gesellschaft, entstehen modulare Ausstellungskonzepte, etwa ein kompakter Ausstellungskoffer, mit dem sich Myzelwerkstoffe anschaulich erklären lassen. Wer das Material einmal in der Hand gehalten hat, versteht meist schnell, warum Lina Vieres so überzeugt von seinem Potenzial ist.

Am Ende, sagt Vieres, gehe es um mehr als nur um einen neuen Dämmstoff: »Die Superkräfte der Pilze kann man viel weitreichender einsetzen, als wir es heute schon tun. Möglicherweise können diese Werkstoffe irgendwann eine echte Alternative zu fossilen Rohstoffen darstellen, externe Materialabhängigkeiten reduzieren und dabei helfen, Reststoffe sinnvoll im Kreislauf zu halten.« Aus einer kleinen Nische im Mitmachlabor ist so eine Forschungsrichtung geworden, die weit über Dortmund hinausstrahlt – getragen von einem starken Team mit viel Leidenschaft und einem großen Netzwerk im Hintergrund. ■

»Die Superkräfte der Pilze kann man viel weitreichender einsetzen, als wir es heute schon tun.«

Lina Vieres, Fraunhofer UMSICHT



Humanoide Robotik



Die neuen Kollegen

Humanoide Roboter wie »Atlas« oder »Optimus« tanzen und schlagen Saltos. Doch um in Fabriken arbeiten zu können, brauchen sie leistungsfähigere Hardware – eine große Chance für die deutsche Fertigungsindustrie.

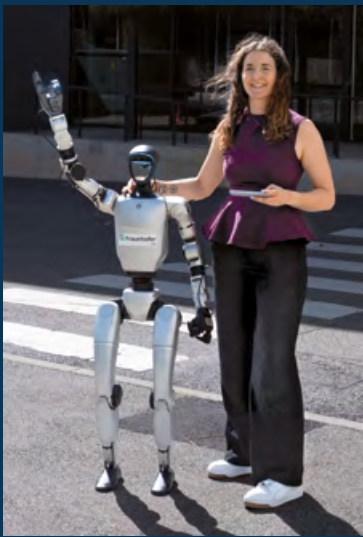
Von Dr. Sonja Endres; Fotograf: Sven Döring



Humanoide Unterstützung ist auf dem Weg: Vincent Bezold vom Fraunhofer IPA macht der Roboter-Revolution in den Produktionshallen Beine.



Der kleine Helfer aus der Box: Um einsatzfähig zu werden, braucht er noch menschliche Assistenz.



Noch nicht ganz auf
Augenhöhe: Roboter
und Mensch.



Ein humanoider Roboter steigt eine Treppe hoch, nimmt eine Eurobox auf, setzt sie wieder ab. Das Entscheidende an dieser Szene im Versuchsfeld des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart sieht man nicht: Gelenktemperaturen, Wiederholgenauigkeit, Rechenlast. »Beeindruckende Videos gibt es genug. Uns interessiert, was ein System über eine ganze Schicht hinweg leistet – und was es dabei verbraucht«, sagt Johannes Frey, Robotikingenieur am Fraunhofer IPA. Gemeinsam mit seinen Kolleginnen und Kollegen analysiert er humanoide Roboter systematisch.

Anders als klassische Industrieroboter, die fest an einem Ort installiert und für klar definierte Aufgaben programmiert sind, sollen humanoide Roboter vielseitig

«Das sind alles für den Menschen einfache Aufgaben, die der Humanoide erst noch trainieren muss.»

Johannes Frey, Fraunhofer IPA

einsetzbar sein. Sie sind dafür geschaffen, in für Menschen bestimmten Umgebungen zu arbeiten, daher sind sie in Form und Aufbau dem menschlichen Körper nachempfunden. Um sich fortzubewegen, nutzen sie Beine oder eine mobile Plattform, für die Erfassung ihres Umfelds Sensoren.

Neugierig wird jeder humanoide Neuzugang zur Sammlung des Fraunhofer IPA beäugt, einsatzfähig gemacht und auf den institutseigenen Testparcours geschickt. Frey: »Das sind alles für den Menschen einfache Aufgaben, die der Humanoide erst noch trainieren muss.« Wenn der Roboter scheitert, macht sich Frey mit seinem Team

auf Fehlersuche – und wird häufig bei der Hardware fündig. Manchmal ist bereits die Verkabelung so mangelhaft, dass die Kontakte leicht verrutschen und es zu Fehlermeldungen und Ausfällen kommt. Oft liefern die verbauten Sensoren nicht die erforderliche Datenqualität für eine präzise Umfelderkennung und Navigation. Auch sind viele Komponenten empfindlich und würden insbesondere einem dauerhaften Einsatz in der Industrie nicht lange standhalten. Frey: »Unsere Testungen laufen zurzeit noch. Bisher gibt es kaum Erfahrungen mit humanoiden Helfern in Produktionshallen.«

Das soll sich jedoch bald ändern. Seit März 2026 erprobt BMW den Einsatz von Humanoiden im Leipziger Werk. Auch Mercedes oder Siemens experimentieren bereits mit den menschenähnlichen Robotern, die der KI einen Körper geben. Fabrikhallen gelten wegen der klar strukturierten Arbeitsumgebung und der standardisierten Prozesse als besonders geeignetes Einsatzfeld. Humanoide sollen, so die Hoffnung, die Fertigung kostengünstiger machen und den prognostizierten Arbeitskräftemangel ausgleichen.

Doch bis dahin ist es noch ein weiter Weg. Die beeindruckenden chinesischen Tanzshows, in denen sich Humanoide perfekt synchron im Rhythmus der Musik bewegen, oder die akrobatischen Kunststücke von Boston Dynamics »Atlas« und Teslas »Optimus« lassen fast vergessen: Technologisch bleibt noch einiges zu tun, bis sie unsere Fabriken bevölkern können. Viele wichtige Bauteile wie Aktoren, Getriebe oder Sensoren erfüllen nicht die industriellen Anforderungen an Robustheit, Lebensdauer und Kosten. Vincent Bezold, Leiter des Geschäftsbereichs Automatisierte Fertigungssysteme am Fraunhofer IPA: »Neben der KI bestimmen vor allem die Hardwarekomponenten zurzeit die Fähigkeiten, Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit der humanoiden Helfer.« Das sei, so ist er überzeugt, eine große Chance für die zuletzt stark gebeutelte Autozuliefererindustrie und den deutschen Maschinenbau, die ihre Stärken in Präzisionsmechatronik, Systemintegration und

industrieller Fertigungstechnologie voll ausspielen könnten.

Warum nicht Antriebssysteme, Lager oder Getriebe für den Zukunftsmarkt humanoide Robotik herstellen statt für Autos? Branchengrößen wie Schaeffler oder Bosch haben den Markt bereits für sich entdeckt und sind in die Entwicklung und Produktion eingestiegen. Wie Komponentenhersteller durch die Umstellung ihrer Fertigung auf technische Bauelemente für Humanoide profitieren können, analysierte Bezold gemeinsam mit Experten des Fraunhofer IPA und der Unternehmensberatung P3, die 1996 aus dem Institut ausgegründet wurde und auf Kunden aus der Automobil- und Fertigungsindustrie spezialisiert ist. Vor Kurzem veröffentlichten sie ihre Ergebnisse in einem Whitepaper. Bezold: »Seitdem rennen uns hier interessierte Firmen förmlich die Bude ein. Ich führe jeden Tag mehrere Gespräche.« In Workshops geben er und sein Team einen Überblick über den Markt, klären über den technologischen Stand, noch vorhandene Mängel und Engpässe auf und informieren über Kooperationsmöglichkeiten mit dem Fraunhofer IPA. Die sind vielfältig und reichen von einer Beratung darüber, wie die eigenen Produkte verändert werden müssen, um für den Robotik-Markt attraktiv zu sein, bis hin zur Integration und Testung von Komponenten in den institutseigenen Humanoiden sowie gemeinsamen Forschungsprojekten.

Gefragt sind vor allem Antriebe, die energieeffizient, klein und leicht sind, dabei trotzdem leistungsstark und robust. 30 bis 50 Elektromotoren sind in der Regel in einem Humanoiden verbaut, um ihm eine menschenähnliche Beweglichkeit zu ermöglichen – Hände ausgenommen. Dabei müssen die Motoren wie Muskeln im Körper an unterschiedliche Anforderungen und Bauräume angepasst sein. Beine und Hüfte brauchen beispielsweise viel Kraft, um das Körpergewicht zu tragen und das Gleichgewicht zu halten. Für die Feinmotorik reichen hingegen weniger leistungsstarke Motoren, die dafür aber eine sehr genaue Positionierung ermöglichen und besonders kompakt sein müssen. Tests mit

humanoiden Robotern am Fraunhofer IPA zeigen, dass aktuelle Antriebssysteme erheblich unter Verschleiß, ineffizienter Energienutzung und Wärmeentwicklung leiden. Frey erklärt: »Die Motoren werden sehr heiß, weil sie je nach Körperhaltung und Anwendung hohe Kräfte auf engem Raum erzeugen müssen. Sie arbeiten ständig gegen die Schwerkraft, müssen das Gewicht des Roboters ausbalancieren. Dadurch entstehen hohe elektrische Ströme und viel Wärme.« Dabei bleibe nur wenig Platz für Kühlsysteme – eine von vielen Herausforderungen.

Dr. Florian Weißhardt: »Die Nachfrage nach Antrieben für Humanoide ist in den vergangenen Monaten bei uns explodiert.« Der Robotik-Ingenieur und Head of Intelligence beim Motion-Control-Spezialisten Synapticon in Schönaich bei Stuttgart entwickelt gemeinsam mit dem Fraunhofer-IPA-Team Aktoren für Humanoide, die nicht nur den technischen Anforderungen gerecht werden, sondern auch eine sichere Zusammenarbeit mit Menschen ermöglichen sollen. Frey: »So ein Roboter kollabiert ja, wenn man den Strom abschaltet. Dann fällt er unkontrolliert zu Boden und geht kaputt oder er stürzt im schlimmsten Fall auf einen Menschen und verletzt ihn.« Ein »Not-Aus«, also ein Unterbrechen der Energieversorgung, wie es bei festinstallierten Industrierobotern im Störfall üblich ist, ist daher keine Option.

Im Projekt MARCH arbeiten das Fraunhofer-IPA-Team und Synapticon deshalb daran, Humanoiden das kontrollierte Fallen beizubringen. Dafür konstruierten Frey und sein Kollege Robert Mokry eigens den Hybrid-Humanoide BiBiRob, dem Oberkörper, Kopf und Arme fehlen. Frey: »Für die Fallanalysen reichen uns ja die Beine.« Statt auf Füßen balanciert BiBiRob auf Rädern, was ihn energieeffizienter macht.

Die Bein kinematik haben Frey und Mokry so gestaltet, dass durch die Auslegung des Massenschwerpunkts und die bewusste Einschränkung der Bewegungsfreiheit nur bestimmte Fallrichtungen möglich sind. Mit einem eigens entwickelten Bewegungscontroller lassen sich außerdem die Geschwindigkeit und die Ak-



Robert Mokry arbeitet am Fraunhofer IPA daran, Humanoide sicherer zu machen.

tionsräume begrenzen sowie Kräfte und Beschleunigungen überwachen, um gravierenden Beschädigungen vorzubeugen. Kombiniert mit einem Aktor von Synapticon soll der Sturz des Humanoiden gezielt gesteuert werden können. Weißhardt: »Wir verwenden ein innovatives Feature, mit dem sich die Dämpfungseigenschaften jedes Motors genau einstellen lassen, sodass wir im Fehlerfall ein Bein weichschalten können und das andere hart. Der Humanoid fällt dann entsprechend zur Seite.« Kombiniert mit einer sicheren Menschenerkennung könne in einer Notsituation der Humanoid weggelenkt und eine Kollision vermieden werden. Mokry ergänzt: »Wenn Humanoide nur hinter Schutzzäunen betrieben werden wie herkömmliche Industrieroboter, könnten wir ihre Stärken nicht nutzen – vor allem nicht ihre Mobilität und ihre hohe Flexibilität.«

Bald wollen Weißhardt, Frey und Mokry erste Falltests in der Versuchshalle des Fraunhofer IPA machen. Damit BiBiRob nicht nach jedem Sturz repariert werden

muss, wird die Testumgebung mit Schaumstoff gepolstert und der Roboter mit einem Seil gesichert.

Sollte der Aktor mit dem Sicherheitsfeature die Tests bestehen, ist Synapticon auf der Suche nach Partnern, die diesen, aber auch andere bereits entwickelte Prototypen in großer Stückzahl herstellen können. Weißhardt: »Bereits heute bekommen wir Anfragen von Zulieferern aus der Automobilindustrie, die ihre Produktion umstellen wollen. Da ist jeder hochwillkommen, denn die haben genau das Fertigungs-Know-how, das wir suchen.« Viele der europäischen und amerikanischen Humanoid-Hersteller bevorzugten zudem technologische Komponenten aus heimischer Produktion, um sich mit ihrer Zulieferkette unabhängig von China zu machen.

Leistungsfähige Hardware und Sicherheit sind entscheidende Voraussetzungen dafür, Humanoide tatsächlich in die industrielle Anwendung zu bringen. Damit es in den Fertigungshallen jedoch nicht bei einfachen Hol- und Bring- oder Greif- und Ablage-Aufgaben bleibt und sich die teuren menschenähnlichen Helfer lohnen, müssen vor allem die Roboterhände deutlich manipulationsfertiger und feinfühlicher werden. Immerhin sollen die technologisch ausgereiftesten Modelle wie der Atlas-Roboter bis zu 300 000 US-Dollar kosten – je nach Ausstattung und Einsatzszenario.

Prof. Norbert Elkmann, Abteilungsleiter Robotersysteme am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg: »Die menschliche Hand ist einzigartig. Sobald sie ein Objekt erfasst, spürt sie sofort das Gewicht, die Oberflächenstruktur, die Temperatur. Unglaublich viele Informationen werden über die Hände automatisch generiert. Das macht ihre Nachbildung so schwierig.«

Gemeinsam mit seinem Team hat er taktile Sensoren entwickelt, die Roboterhände empfindsamer machen. Sie bestehen aus piezoresistiven Polymerkompositen – einem speziellen Mix aus Kunststoff und weiteren Materialien, dessen elektrischer Widerstand sich bei Druck verändert. Je kräftiger die Polymerkomposite zusam- ►

mengedrückt werden, desto mehr Strom fließt. Damit der Sensor eine Ortsauflösung bekommt, befinden sich auf ihm viele kleine Messfelder. Elkmann: »Mithilfe einer von uns ebenfalls entwickelten Software, die diese Informationen auswertet, wissen wir immer genau, an welchem Kontaktpunkt im Greifer oder in der Roboterhand unser Objekt mit welcher Kraft anliegt. Dadurch können wir es so ausrichten, dass es sich beispielsweise in eine Maschine korrekt einlegen lässt.« Dabei erkennen die Sensoren auch, ob ein Objekt aus der Hand zu rutschen droht, sodass noch mal nachjustiert werden kann. Über die Materialzusammensetzung können die Forschenden die Empfindsamkeit der Sensorzellen steuern. Elkmann: »Wir haben auch schon Sensoren gebaut, bei denen ein Luftzug ausreichend war, um ein Signal zu erzeugen.« Im Unterschied zu herkömmlichen Lösungen lassen sich die innovativen, robusten Sensoren aus dem Fraunhofer IFF problemlos biegen, ohne dass Fehlsignale entstehen. Sie könnten daher auch in flexible Strukturen wie Handschuhe integriert werden, die man wie eine künstliche Haut über Roboterhände zieht. Erste Gespräche mit Herstellern laufen bereits. Elkmann: »Damit haben wir die Basis geschaffen, um die haptischen Fähigkeiten des Menschen nachzuahmen. Trotzdem sind wir noch weit von der Fingerfertigkeit der menschlichen Hand entfernt.«

Hier in die Entwicklung einzusteigen, lohnt sich, glauben auch die Autoren des Whitepapers aus dem Fraunhofer IPA und der Unternehmensberatung P3. Geschickte Hände sind das Hardware-Element, das die Kosten eines humanoiden Roboters am stärksten beeinflusst. Mit 70 000 US-Dollar oder mehr muss man für ein Paar hochwertiger Roboterhände rechnen. In ihnen sind bis zu 20 Aktoren verbaut. Die Finger enthalten sehr kleine Motoren mit feinen Getrieben, die präzise, aber trotzdem kräftig sind und extreme Scherkräfte aushalten müssen. Der Bedarf an optimierten Antriebs-, aber auch an Sensor-, Struktur- und Energiekomponenten ist groß.

Bezold: »Die Industrie muss jetzt schnell mit der Entwicklung und Produktion die-

ser und weiterer Komponenten starten, um sich einen Platz in der Lieferkette zu sichern.« Doch ohne deutsche Roboter-Hersteller werde man langfristig kaum Erfolg haben. Damit ein mit der Autoindustrie vergleichbares Zulieferer-Ökosystem wachsen kann, brauche es Unternehmen wie

»Die menschliche Hand ist einzigartig. Sobald sie ein Objekt erfasst, spürt sie sofort das Gewicht, die Oberflächenstruktur, die Temperatur.«

Prof. Norbert Elkmann, Fraunhofer IFF

VW, BMW, Audi oder Mercedes. Zurzeit gibt es jedoch in Deutschland nur zwei größere Unternehmen, die Humanoide entwickeln: Neura Robotics und Agile Robots.

Mit dem »KI-Robotikbooster«, der Teil der sogenannten »Hightech Agenda« ist, will die Bundesregierung KI-basierte Robotik und Embodied AI aus Deutschland international wettbewerbsfähig machen. Für Forschung und Entwicklung stellt sie 100 Millionen Euro bereit. Das sei ein wichtiger Schritt, werde jedoch allein nicht reichen, ist Bezold überzeugt. Der Fortschritt in der humanoiden Robotik sei rasant. Gerade entscheide sich, ob Europa ein zentraler industrieller Akteur im Bereich der humanoiden Hardware werde oder weiter hinter China und den USA zurückbleibe. Schon bald werden die Humanoide die Tanzshows verlassen und an Werkbänken ihre Aufgaben übernehmen. Bezold: »Time of Dancing is over«, wie man im Englischen sagt. ■

Anatomisches Wunderwerk: die menschliche Hand. In den empfindsamen Fingerkuppen befinden sich besonders viele Tastrezeptoren.





Prof. Norbert Elkmann vom Fraunhofer IFF hat taktile Sensoren entwickelt, die Roboterhände feinfühlicher machen und sich in Handschuhe integrieren lassen.

Mit **70 000 US-Dollar** oder mehr muss man für ein Paar hochwertiger Roboterhände rechnen. In ihnen sind bis zu 20 Aktoren verbaut.

Smarter Schwarm

Im Team sind sie unschlagbar: zivile Drohnenschwärme, die zum Beispiel nach Überlebenden von Naturkatastrophen suchen. Bislang ist ihre Einsatzfähigkeit jedoch abhängig vom Mobilfunk. An einer resilienteren Koordination arbeiten Forschende in Erlangen.

Von Yvonne Weiß

Unterstützung aus der Luft:
Im Schwarm teilen sich
Drohnen ihre Aufgaben.

Wie ein Vogelschwarm durchkämmen die Drohnen die überfluteten Straßen, fahnden als Formation nach Überlebenden des Hochwassers. Schneller als jedes Boot, effizienter als jeder Helikopter. Erfasst eine der Drohnen einen Menschen in Not, gibt sie die Information in Sekundenschnelle an die nächstgelegene Drohne weiter, bis sie über den Schwarm hinweg schließlich bei der Einsatzleitung landet – und Rettung naht.

So könnten zivile Drohnen dank einer neuen Fraunhofer-Technologie künftig nach einer Naturkatastrophe zum Einsatz kommen – selbst wenn kritische Infrastruktur zerstört ist: »Wir entwickeln ein mobiles Ad-hoc-Mesh-Netzwerk, in dem mehrere Drohnen dezentral miteinander verbunden sind und etwa über Wi-Fi oder Bluetooth kommunizieren«, erklärt Dr. Manuel Schrauth, Gruppenleiter im Bereich Kommunikationssysteme am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. »So können die Drohnen auch ohne Mobilfunk im Schwarm arbeiten – ein entscheidender Vorteil, wenn man bedenkt, dass nur ein Bruchteil der gesamten Erdoberfläche über eine gute Mobilanbindung verfügt.«

Immer auf Empfang – auch ohne Mobilfunk

Bisher kommen zivile Drohnenschwärme noch kaum zum Einsatz: Da sie meist zentral gesteuert sind, läuft der Informationsaustausch im Schwarm bislang über einen einzigen Knotenpunkt – das Mobilfunknetz. Das Problem: Fällt ein Mobilfunkmast aus, etwa nach einer Naturkatastrophe, bricht die gesamte Kommunikation im Schwarm zusammen – und damit auch der Kontakt zur Leitstelle.

Die neue Technologie funktioniert dagegen vollständig dezentral, das heißt ohne Mobilfunkanbindung. »Unser Mesh-Netzwerk ist so nicht nur weniger störanfällig, es eignet sich zudem für den Ultra-Low-Power-Bereich, also sehr kleine, leichte und energiesparende Drohnen«, erklärt Schrauth. Vergleichbare, hochdynamische Netzwerke existieren bislang nur im militärischen Bereich, weshalb sie teuer und ausschließlich für große, schwere Drohnen geeignet sind. Zudem bestehen häufig starke Abhängigkeiten von außereuropäischen Herstellern.

»Wir entwickeln ein mobiles Ad-hoc-Mesh-Netzwerk, in dem mehrere Drohnen dezentral miteinander verbunden sind.«

Dr. Manuel Schrauth, Fraunhofer IIS

Für das Mesh-Netzwerk entwickeln Manuel Schrauth und sein Team ein tabellenbasiertes System: Die einzelnen Drohnen, die jetzt als Knotenpunkte im Schwarm fungieren, senden in regelmäßigen Abständen sogenannte Heartbeats aus. Vergleichbar ist das mit Bluetooth-Kopfhörern, die blinken, während sie nach kopplungsbereiten Geräten suchen und das Signal »Ich bin hier« aussenden.

Kooperation in der Luft

Haben sich zwei Knoten gegenseitig registriert, vervollständigen sie ihre jeweiligen Tabellen; darin halten sie fest, welche anderen Geräte wann und wo gesichtet wurden. Geschieht dieser Prozess alle paar Sekunden, lässt sich eine ausreichende Kenntnis über das gesamte Netzwerk aufbauen.

Obwohl jeder einzelne Knoten lokal lediglich über unvollständige Informationen verfügt, kann sich ein Datenpaket so sukzessive ausbreiten. »Es handelt sich also über mehrere Drohnen hinweg immer weiter bis zum Ziel, die nötigen Informationen werden iterativ zusammengebaut«, erklärt Manuel Schrauth. Für die Nutzerinnen und Nutzer soll sich der Vorgang

später wie eine gewöhnliche Eins-zu-eins-Verbindung anfühlen.

Grundlage für die Entwicklung äußerst energiesparbarer Ad-hoc-Mesh-Netzwerke war die GAIA-Initiative: Mit einem interdisziplinären Konsortium arbeiteten Manuel Schrauth und sein Team an satellitengestützten Tiersendern für Geier in Namibia, die dezentral untereinander kommunizieren können. Damit können Forscherteams das Verhalten der Tiere analysieren – und Rückschlüsse auf Umweltveränderungen ziehen.

In der Praxis könnten dank der Innovation künftig mehrere Drohnen automatisch aus einem Koffer starten, im Mesh-Netzwerk die Reichweite des Schwarms erhöhen und ihre unterschiedlichen technischen Stärken nutzen, um etwa gemeinsam ein Lagebild anzufertigen.

In einer Simulation konnten die Forschenden bereits zeigen, dass die Innovation funktioniert, nun möchten sie diese auf kommerzielle Hardware übertragen. Im Labor laufen aktuell Untersuchungen mit Bluetooth- und Wi-Fi-Geräten, die Daten über mehrere Knoten hinweg verarbeiten. Einen Prototyp der Technologie präsentiert die Projektgruppe voraussichtlich kommendes Jahr. ■

Runter vom Flickenteppich

Weniger Datensilos, mehr smarte Services und eine bessere Verwaltung für Städte und Regionen: Künstliche Intelligenz und Automatisierung tragen nur zur Entbürokratisierung bei, wenn sie klug in die Prozesse integriert werden.

Von Beate Strobel

Alles ganz einfach?
Der Weg in die digitale
Verwaltung erfordert
Flexibilität im Umgang
mit Hindernissen.

Straffen, vereinfachen, digitalisieren: Der Abbau bürokratischer Hürden in Deutschland ist erklärtes Ziel der schwarz-roten Bundesregierung – und das aus gutem Grund: Nach einer ifo-Management-Umfrage von 2024 beklagen 78 Prozent der Befragten das Tempo der öffentlichen Verwaltung als »schlecht« oder »sehr schlecht«. Den Verlust an Wirtschaftsleistung beziffert das ifo Institut pro Jahr auf 146 Milliarden Euro.

Doch nicht nur die Wirtschaft leidet. Die Digitalisierung in der Verwaltung hat Andrea Nahles, Chefin der Bundesagentur für Arbeit, als eine »riesige Umsetzungsaufgabe« bezeichnet – und der Teufel stecke im Detail. Exemplarisch hat das Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin im Auftrag des Thinktanks Agora Digitale Transformation das Thema Wohngeldantrag untersucht. Der digitale Wohngeldantrag sei für Betroffene eine »mit Stress verbundene Erfahrung«, bilanzieren Stefanie Hecht und Jana Plomin, die Autorinnen der Fraunhofer-Studie. Sie benennen drei Kernprobleme: fehlende Orientierungshilfen, unterschiedliche föderale Zuständigkeiten sowie Digitalverfahren, die eher Verwirrung produzieren als dass sie den Prozess erleichtern.

Ähnliches zeigte ein Projekt zur Digitalisierung von Wohngeldanträgen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI. »Wir haben am Beispiel der Stadt Heilbronn eruiert, wie die Bearbeitung eines Wohngeldantrages aktuell abläuft und inwiefern sie sich durch Künstliche Intelligenz und robotergestützte Prozessautomatisierung vereinfachen und verkürzen ließe«, erklärt Projektleiter David Wurster.

In Heilbronn, so das Ergebnis der Analyse, geht der Großteil der Wohngeldanträge (ca. 1700 in 2024) bislang per Post und damit in Papierform ein. Und das trotz der Option, diese Sozialleistung eingescannt, per Mail oder komplett online über ein Service-Portal des Landes Baden-Württemberg zu beantragen. Die drei unterschiedlichen Einfallstüren sind für Verwaltungsmitarbeitende ein Problem:

»Aufgrund der fehlenden Passung der einzelnen Systeme müssen alle Anträge – egal, ob digital oder analog eingereicht – händisch nachbearbeitet und letztendlich in Papierform abgelegt werden«, erklärt Wirtschaftswissenschaftlerin Valerie Hübscher, die das Projekt zusammen mit ihrem Kol-

Nach einer ifo-
Management-Umfrage
von 2024 beklagen

78 %

der Befragten
das Tempo der
öffentlichen Verwaltung
als »schlecht« oder
»sehr schlecht«.

legen David Wurster leitet. IT-Lösungen wie KI und robotergestützte Prozessautomatisierung können hier nur bedingt helfen. Wurster: »Ein Prozess wird durch den Einsatz neuer Technologien nur dann besser, wenn diesem eine Prozessanalyse und -optimierung vorausgeht.«

Dass Städte und Regionen aktuell mit einem Flickenteppich an organisch gewachsenen Systemen arbeiten, bei dem die Einzelteile nicht oder nur rudimentär miteinander verknüpft sind, bezeichnet auch Dr.-Ing. Alanus von Radecki als eine der Hauptherausforderungen auf dem Weg zur digitalen Verwaltung: »Nichts ist momentan interoperabel«, urteilt der Soziologe und Ingenieur, der lange das Fraunhofer-Innovationsnetzwerk Morgenstadt leitete. Brücken zwischen den vielen Inselösungen schlagen: Das möchte Alanus von Radecki mit dem Daten-Kompetenzzentrum für Städte und Regionen (DKSR), einer Ausgründung des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Das Ziel, das sich das DKSR gesetzt hat, gleicht einer Herkulesaufgabe: eine souveräne, interoperable und stan-

dardisierte Dateninfrastruktur für Städte und Regionen aufzubauen – und das nicht nur innerhalb von Deutschland, sondern europaweit.

Immerhin: Der potenzielle Gewinn ist ähnlich groß wie die Aufgabe. »Eine einheitliche Dateninfrastruktur würde die öffentliche Hand in die Lage versetzen, gute Lösungen zu adaptieren und umzusetzen«, betont von Radecki. »Das Rad müsste dann nicht in jeder Stadt oder Region neu erfunden werden.«

Beim DKSR wurde dafür eine Open-Source-Plattform namens CIVORA entwickelt, mit der Kommunen die Datensätze aus den unterschiedlichsten Bereichen zusammenführen und für smarte Lösungen nutzen können. Bisher arbeiten rund 150 Städte, Landkreise, Gemeinden und Behörden mit CIVORA. Eine davon ist die nordrhein-westfälische Stadt Troisdorf mit knapp 75 000 Bürgerinnen und Bürgern in insgesamt 12 Stadtteilen.

Der Weg zu einer echten Dateninfrastruktur

Die Verwaltung war zunächst an das DKSR herangetreten mit der Idee, die dringend erwünschte Wiederbelebung der Innenstadt datenbasiert anzugehen. Nach zweijähriger Zusammenarbeit verfügt die Kleinstadt nun durch Implementierung der CIVORA-Datenplattform über eine smarte Basis für die unterschiedlichsten Verwaltungsprozesse. Aus Datensilos formte sich ein effektives und datensicheres Gesamtsystem: Fachämter können über die Plattform Daten hochladen, Zugriffsrechte definieren und die Daten anderer Ämter nutzen oder automatisierte Berichte erstellen lassen – ein Quantensprung im Vergleich zur Zeit vor CIVORA.

»Die digitale Daseinsvorsorge muss zur Pflichtaufgabe für Kommunen und stärker auf Bundes- oder Landesebene gefördert werden, damit Deutschland nicht den Anschluss verliert«, urteilt Alanus von Radecki. Nur so könnten digitale Lösungen ihre Wirkung entfalten, die Verwaltung entlasten und Budgets freisetzen – zum Wohl der Mitarbeitenden wie der Mitbürger. ■

Den Ex aus dem Kopf

Wenn Unternehmen in einer Kooperation gemeinsam Künstliche Intelligenz nutzen, aber ein Partner das Projekt verlässt, haben alle ein Problem: Wie lernt die KI zu vergessen? Fraunhofer-Forschende haben eine clevere Antwort gefunden: föderiertes Unlearning.

Von Mehmet Toprak

«S

ie würden ja gerne. Wenn es nur nicht so viele Risiken gäbe. Und so viele Fragen: Wie ist das zum Beispiel mit ...? Was passiert, wenn ...? Besteht nicht die Gefahr, dass ...? Solange diese Fragen offen sind, agieren viele Unternehmen in Deutschland noch zögerlich, wenn es darum geht, KI in gemeinsamen Projekten einzusetzen. Schließlich müssen sie dafür ihre wertvollen Unternehmensdaten in die Blackbox KI einspeisen.

Antworten darauf finden sich in Dortmund – bei den Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Software- und Systemtechnik ISST. Und sie belassen es nicht bei klugen Ratschlägen. Sie haben Tools entwickelt, mit denen der Einstieg in KI sicher und problemlos gelingt. Bei ihrem Forschungsvorhaben haben sie mit dem Industriepartner Fujitsu Research zusammengearbeitet.

Anwendungsszenarien für KI-gestützte Kooperationen haben längst die Praxis erreicht. Nutzen beispielsweise mehrere Partner das gleiche Modell einer Fräsmaschine, aber auf unterschiedliche Weise, so fließen auch unterschiedliche Daten in das KI-Training ein. Ein Partner steuert Daten bei, wann der Motor versagt, ein an-

derer, wann der Fräskopf bricht. Vom gemeinsamen Wissen profitieren alle Beteiligten. »Wenn die Partner ihre eigenen Daten in die KI einspeisen, um das Learning in Gang zu bringen, befürchten sie, dass sie die Kontrolle über ihre Daten aufgeben«, weiß Florian Zimmer, Forscher am Fraunhofer ISST. »Wir begegnen dem mit einem dezentralisierten KI-Netzwerk. Jeder Partner behält die volle Souveränität über seine Daten. Keiner kann die Daten der anderen kontrollieren.«

Damit ist eine Sorge genommen. Aber was passiert, wenn ein Partner das Gemeinschaftsprojekt verlässt, nachdem die KI bereits mit den Daten aller Beteiligten gefüttert wurde? Wie kann das Unternehmen, das die Kooperation verlassen möchte, sicherstellen, dass die anderen nicht mit den eigenen Daten weiterarbeiten? Und wie können die verbleibenden Firmen sicherstellen, dass die KI weiterhin präzise Ergebnisse liefert, obwohl die Daten des Ex-Partners noch im System umhergeistern?

Föderiertes Unlearning

Die Fraunhofer-Forschenden haben gemeinsam mit Fujitsu Research das Kon-

»Jeder Partner behält die volle Souveränität über seine Daten. Keiner kann die Daten des anderen kontrollieren.«

Florian Zimmer, Fraunhofer ISST

zept des föderierten Unlearnings entwickelt. »Unlearning« bedeutet, dass alle Lernschritte, die auf den Daten des zu entfernenden Partners basieren, zurückgenommen, also verlernt werden. »Wir gehen in der KI-Historie bis zu dem Punkt zurück, an dem das betreffende Unternehmen in das Projekt eingestiegen ist. Genau an diesem Punkt setzt dann der Lernprozess wieder neu ein, diesmal ohne die Daten des Ex-Partners«, sagt Janosch Haber von Fujitsu Research.

Möglich wird das, weil beim Training der KI jeder Schritt dokumentiert ist. Damit registriert das System auch, wann die einzelnen Firmen in das Projekt eingestiegen sind.

Die Lernhistorie speichert zusätzlich, welche Wege und Iterationen das Lernmodell der KI eingeschlagen hat. Diese Informationen über den Lernverlauf helfen, einen erneuten Lernfortgang zu rekalisieren. Den Vorteil für Unternehmen nennt Zimmer: »So arbeitet das Training fast doppelt so schnell wie ohne Kalibrierung.«

Für den Ausstieg aus einem Gemeinschaftsprojekt kann es viele Gründe geben: Strategieänderungen oder neue Datenschutzregelungen für einen Partner in einem internationalen Projekt sind nur

zwei davon. Der Albtraum von Unternehmen ist das Model Poisoning. Dabei speist ein Partner versehentlich oder absichtlich falsche Daten in das Lernmodell der KI ein. Im schlimmsten Fall werden die Ergebnisse der KI dadurch unbrauchbar. Auch darauf zielt die Fraunhofer-Lösung. Zimmer: »Unsere Tools sind in erster Linie nicht dafür gedacht, bestehende Probleme zu lösen, sondern dafür, Unternehmen für zukünftige Projekte und alle Eventualitäten zu rüsten.«

Nach einer Erhebung des Branchenverbands Bitkom nutzen aktuell nur 38 Prozent der Unternehmen mit 20 bis 99 Beschäftigten eine KI. Bei Gemeinschaftsprojekten dürften die Zahlen noch deutlich niedriger sein. Mit Konzepten wie dem dezentralen KI-Netzwerk, dem gezielten Unlearning und der Rekalibrierung könnte die KI-Nutzung in Gemeinschaftsprojekten einen deutlichen Schub erhalten.

Es gibt eine Alternative. Die klingt sogar recht verlockend: abwarten, bis sich die Lage geklärt hat, und den Hype um KI ignorieren. Doch Zimmer und Haber sind überzeugt: »Damit würden Unternehmen im Wettbewerb hoffnungslos ins Hintertreffen geraten. Auf KI zu verzichten ist heute keine Option mehr.« ■

Die Zusammenarbeit von Unternehmen erleichtern: Jetzt lernt die KI das Verlernen.

Rakete aus dem Printer

Wie sich Raketenbauteile schneller und einfacher herstellen lassen, haben Forschende am Fraunhofer IGCV herausgefunden – und erschließen damit ganz neue Sphären.

Von Laura Rottensteiner-Wick

Der Weg ins All ist teuer, aber für Europa notwendig, um sich einen unabhängigen Zugang zu sichern. Ein europäisches Forschungskonsortium will die Kosten jetzt deutlich senken. Im Projekt ENLIGHTEN-ED entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler innovative Fertigungstechnologien für Raketenkomponenten, die flexibler und günstiger sind als herkömmliche Lösungen. Es wird von der ArianeGroup koordiniert und vereint 18 Partner aus ganz Europa.

Mit dabei ist auch das Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV in Augsburg. Dort arbeitet Maschinenbauingenieur Constantin Jugert mit seinem Team an einer Technologie, die ganz neue Chancen bietet: den Multimaterial-3D-Druck von Metallbauteilen.

Zwei Metalle, ein Bauteil

»Die Vorstellung, dass man von der Erde aus in den Weltraum fliegen und das All erforschen kann, hat mich schon immer fasziniert«, erzählt Jugert. Im Zentrum seiner Weltraumforschung steht ein spezielles additives Fertigungsverfahren: das Multimaterial-Laserstrahlschmelzen. Dabei werden Metallpulver schichtweise mit einem Laser aufgeschmolzen und zu komplexen Bauteilen aufgebaut. Anders als beim konventionellen 3D-Druck nutzt das Verfahren nicht nur einen Werkstoff, sondern mehrere Metalle. »Wir können innerhalb einer Schicht zwei verschiedene Werkstoffe verarbeiten und diese dreidimensional im Bauteil verteilen«, erklärt Jugert. »Dadurch eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten bei der Konstruktion technischer Komponenten.«

Ein Ventil für die Ariane von morgen

Während im ersten Projektabschnitt ENLIGHTEN vor allem die technische Machbarkeit neuer Ferti-

gungsverfahren untersucht wurde, geht es im aktuellen Nachfolgeprojekt ENLIGHTEN-ED bereits um konkrete Anwendungen.

Die Augsburger Forschenden konzentrieren sich dabei auf ein Magnetventil für zukünftige Ariane-Antriebe. Mehr als die Hälfte der Kosten einer Träger-rakete entfällt auf ihre Antriebssysteme, die Suche nach günstigeren Fertigungsmethoden liegt also nahe. Das spezielle Bauteil besteht aus abwechselnden magnetischen und nichtmagnetischen Stahllegierungen und übernimmt wichtige Funktionen bei der Steuerung von Fluiden und der Lageregelung einer Rakete. »Das Ventil wird auch in der konventionellen Fertigung aus zwei verschiedenen Metallen hergestellt«, sagt Jugert. »Allerdings werden die einzelnen Bereiche hier zunächst separat gefertigt und anschließend mit einem Elektronenstrahl verschweißt.«

Die additive Fertigung eröffnet neue Freiheiten. Statt einzelne Komponenten zusammenzufügen, können die Werkstoffe direkt während des Druckprozesses an den gewünschten Stellen eingebracht werden. »Mit unserem Verfahren können wir Bauteile erzeugen, die mit herkömmlichen Fertigungsmethoden kaum realisierbar sind«, erklärt Jugert. »Wenn sich Anforderungen ändern, können wir Komponenten direkt am Rechner anpassen und mit geringer Vorlaufzeit drucken. Das spart Wochen in der Entwicklung.« Erste Demonstratoren wurden bereits erfolgreich hergestellt.

Wenn Metalle sich nicht vertragen

Allerdings lässt sich nicht jede Materialkombination problemlos verbinden. Titan- und Nickellegierungen bilden etwa beim Verschmelzen spröde intermetallische Phasen, die zu Rissen führen können. Die Lösung: eine zusätzliche Zwischenschicht aus Molybdän. Sie verhindert den direkten Kontakt der beiden Legierungen und wirkt gewissermaßen als Vermittler





Fotos: T. Leduc/Optique vidéo du CSG/CNES
ARIANESPACE/ESA, Fraunhofer IGCV

Teile der kostspieligen Antriebssysteme von Trägerraketen, wie hier der Ariane 6, könnten in Zukunft einfach gedruckt werden.

»Wir können innerhalb einer Schicht zwei verschiedene Werkstoffe verarbeiten und diese dreidimensional im Bauteil verteilen.«

Constantin Jugert, Fraunhofer IGCV



Ein additiv hergestellter Wärmetauscher kühlt im Vakuum des Weltraums unter anderem Elektronik.

zwischen den Werkstoffen. »Das ist ein bisschen wie bei zwei Menschen, die sich nicht verstehen«, sagt Jugert. »Dann hilft manchmal eine vermittelnde Person dazwischen. Genau diese Rolle übernimmt die Zwischenschicht.« Die erfolgreiche Herstellung solcher stoffschlüssigen Materialübergänge ist ein wichtiger Schritt für zukünftige Leichtbau- und Hochleistungsanwendungen in der Raumfahrt.

Werkstoffe lassen sich wiederverwerten

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung liegt auf der Wiederverwendung der Metallpulver. Da sich die verschiedenen Werkstoffe während des Druckprozesses vermischen, entwickeln die Forschenden Verfahren zur automatischen Trennung und Aufbereitung der Pulver. »Das Pulver sollte natürlich kein Abfall sein«, sagt Jugert. Schon jetzt können die Forschenden die verschiedenen Pulverwerkstoffe im Prozess sortieren und wiederverwenden. »Wenn es die Eigenschaften zulassen, verwenden wir dafür magnetische Verfahren. Ansonsten können wir das Pulver auch in mehreren Siebstufen sortieren«, so Jugert. »Weitere Verfahren sind momentan in der Entwicklung.« Langfristig sollen zudem Sensorik und Echtzeitüberwachung den Druckprozess zusätzlich absichern. Thermografiekameras und intelligente Regelalgorithmen könnten künftig jede einzelne Schicht überwachen, automatisch auf Abweichungen reagieren – und so der Technologie den Weg in die industrielle Serienfertigung ebnen. ■

Besser geschützt im Brandfall

Ist eine Solaranlage auf dem Dach, steht häufig auch ein Batteriespeicher im Keller. Im Falle eines Hausbrands ist das gefährlich. Ein neues Sensorsystem des Fraunhofer ICT bringt mehr Sicherheit.

Von Dr. Sonja Endres

»Die Sensoren sind in das WLAN des Hauses eingebunden und laden ihre Daten auf eine Website hoch, auf die die Feuerwehr zugreifen kann.«

Sebastian Geiger, Fraunhofer ICT

Explosionen, Stichflammen, giftige Dämpfe: Bei einem Hausbrand wissen Feuerwehrleute häufig nicht genau, was sie erwartet.



Ü

berhitzt sich bei einem Hausbrand der Heimspeicher, kann es schnell explosiv werden: Der elektrisch leitfähige, flüssige Elektrolyt – in Heimspeichern in der Regel ein Gemisch aus verschiedenen organischen Carbonaten und Lithiumsalz – verdampft und entweicht in die Raumluft. Ein Funke, eine elektrostatische Entladung oder die Wärme der Batteriezellen kann ausreichen, um die leicht brennbaren, teilweise giftigen Gase zu entzünden. Sebastian Geiger, Sensorsystemtechniker am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT: »Häufig wissen die anrückenden Einsatzkräfte nicht, dass sich in dem Brandhaus ein Heimspeicher befindet, geschweige denn, hinter welcher Tür er sich verbirgt oder in welchem Zustand er ist.« Allein das Öffnen der Tür kann zur Zündung des gefährlichen Luft-Gas-Gemisches führen – ein erhebliches Sicherheitsrisiko für Feuerwehrleute, Hausbewohner und -bewohnerinnen.

Hier wollen Geiger und sein Team Abhilfe schaffen: In Kooperation mit der Feuerwehr Dortmund und der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. haben sie das Sensorsystem SEKUR entwickelt, das relevante Parameter wie Temperatur oder Gas-konzentrationen am Heimspeicher kontinuierlich misst und sie im Brandfall zusammen mit einer Standortinformation den Einsatzkräften zur Verfügung stellt. Geiger: »Die Sensoren sind in das WLAN des Hauses eingebunden und laden ihre Daten auf eine Website hoch, auf die die Feuerwehr zugreifen kann.« So können die Einsatzkräfte die Lage schnell und präzise einschätzen und ihr Vorgehen auf die Gefahrensituation abstimmen. Gleichzeitig meldet SEKUR auch vor Ort mithilfe einer LED-Farbampel, wie man sie von Raumluft-Messgeräten kennt, dass etwas nicht stimmt. Bei akutem Risiko ertönt ein Warnsignal.

Das System sieht aus wie ein herkömmlicher Rauchmelder, wird jedoch nicht an der Zimmerdecke, sondern direkt auf dem Heimspeicher befestigt. In dem Gehäuse aus feuerresistentem Harz finden elf Sensormodule Platz, die ringförmig angeordnet sind, sich einfach hineinstecken und bei Bedarf austauschen lassen. Sie messen die Konzentration

von hochbrennbarem und explosionsfähigen Wasserstoff sowie Kohlenwasserstoffen, die bei der Zersetzung des Elektrolyten – abhängig von Temperatur, Sauerstoffangebot und Zellzustand – in unterschiedlichen Mengen entstehen. Außerdem detektieren sie hochgiftiges Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und die Sauerstoffkonzentration im Raum sowie die Temperatur.

Im Praxistest bereits bewährt

Für die Messungen nutzen Geiger und sein Team neben elektrochemischen Sensoren auch einen speziellen fotoakustischen Sensor. Geiger: »Er »hört« quasi die Schwingungen des CO₂-Moleküls, das mithilfe von LED-Licht angeregt wird. Die Stärke des dabei entstehenden akustischen Signals wird von winzigen Mikrofonen aufgezeichnet und erlaubt Rückschlüsse auf die CO₂-Konzentration in der Luft.« Der Vorteil gegenüber einem Infrarot-Sensor, mit dem sich CO₂ ebenfalls messen ließe: Der fotoakustische Sensor ist wesentlich kleiner und kostengünstiger. Insgesamt hat das System einen Durchmesser von nur neun Zentimetern. Der Prototyp kostet rund 100 Euro.

Auch im Praxistest hat sich SEKUR bereits bewährt: Auf einem Testgelände der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM in Brandenburg simulierten die Forscherinnen und Forscher mithilfe von starken Heizplatten einen Brand an einem Heimspeicher in einem frei stehenden Container. Geiger: »Wir haben dem Speicher über anderthalb Stunden ganz schön eingeheizt. Das komplette Elektrolyt ist verdampft. In dem Container gab es so eine starke Rauchentwicklung, dass man nichts mehr gesehen hat.« Während dieser ganzen Zeit lieferte SEKUR, das am Heimspeicher befestigt war, zuverlässig Messdaten. »Das System funktioniert immer noch. Ich hab's drüben im Labor. Allerdings stinkt es jetzt ein bisschen«, sagt Geiger und lacht.

Vor Kurzem präsentierte er SEKUR erstmals auf einer Fachtagung Experten und Expertinnen aus Industrie, Forschung und Behörden – mit überwältigender Resonanz. Geiger: »Ich hätte direkt vor Ort ein paar Geräte verkaufen können. So macht Forschung Spaß!« ■



Sildenafil ist bereits für Säuglinge mit Lungenhochdruck zugelassen und gilt daher als sicher.

Mit Viagra Leben retten

Fraunhofer-Forschende haben einen Wirkstoff gegen das Leigh-Syndrom entdeckt – eine seltene Stoffwechselerkrankung, die oft bereits im Säuglingsalter beginnt und nach zwei bis drei Jahren tödlich endet: Sildenafil, besser bekannt als Viagra.

Von Dr. Janine van Ackeren

Für Menschen, die an einer Seltenen Erkrankung leiden, bleibt der Gang in die Apotheke meist vergeblich. Häufig lassen sich nur die Symptome medikamentös

lindern, heilende Wirkstoffe gibt es kaum. Nach europäischer Klassifikation gelten Erkrankungen als selten, wenn weniger als 5 von 10 000 Menschen betroffen sind. Trotz dieser kleinen Zahlen ist der Therapiebedarf hoch: Schließlich gibt es mehr als 6000 unterschiedliche Seltene Erkrankungen, in der EU geht man von ca. 30 Millionen Betroffenen aus. »Da pro Krankheit jedoch oftmals nur einige Dutzend oder einige hundert Patientinnen und Patienten betroffen sind – weltweit wohlgeachtet –, lohnt sich eine teure und aufwendige Wirkstoffentwicklung für die Pharmakonzerne nicht«, erklärt Dr. Ole Pless, Forschungsgruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP.

Schließlich dauert die Entwicklung eines Medikaments in der Regel 10 bis 15 Jahre und verschlingt rund 2 Milliarden Euro.

Die Apotheke der Welt im Kühlschrank

Am Fraunhofer ITMP keimt jedoch Hoffnung: Pless und sein Team haben es sich zur Aufgabe gemacht, Wirkstoffe für Seltene Erkrankungen zu identifizieren. Dazu arbeiten sie sich durch eine riesige Bibliothek. Bücher allerdings sucht man darin vergeblich, vielmehr handelt es sich um eine Sammlung von Molekülen. »Die Fraunhofer Drug Repurposing Bibliothek enthält alle bereits zugelassenen Wirkstoffe der Welt – knapp 6000 – sowie die Kandidaten, die noch klinisch getestet werden. Wir haben also die Apotheke der Welt in unserem Kühlschrank«, schmunzelt Pless. Diese durchkämmen die Forschenden nach einem

Es gibt mehr als **6000** unterschiedliche Seltene Erkrankungen

sogenannten »Hit«, einem vielversprechenden Treffer. »Zwar ist unser Ansatz verglichen mit dem klassischen Screening, bei dem Hunderttausende gänzlich unbekannte Substanzen getestet werden, schon sehr fokussiert, dennoch gleicht er der Suche nach der Nadel im Heuhaufen – nur wenige Substanzen zeigen eine Wirkung«, beschreibt er. Allem Aufwand zum Trotz: Die Nutzung bereits zugelassener Wirkstoffe im Screening lässt den Prozess der Medikamentenentwicklung deutlich schneller und kostengünstiger werden.

Nervenzellen mit Leigh-Syndrom-Mutation als Modell

Einen aussichtsreichen Kandidaten hat das Team auf diese Weise bereits ausfindig gemacht. Er wirkt gegen das Leigh-Syndrom, eine schwere Stoffwechselerkrankung, die mit einem Fall je 36 000 Lebendgeburten zu den Seltenen Erkrankungen zählt. Üblicherweise tritt sie bereits im Säuglings- oder frühen Kindesalter auf und geht mit einer Schädigung des Gehirns und Nervensystems einher. Für die kleinen Patientinnen und Patienten heißt das: Ihre geistige Entwicklung ist gestört, epileptische Anfälle sind möglich, die Muskeln sind schwach, der Atemantrieb kann versagen. Die meisten betroffenen Kinder versterben vor dem dritten Lebensjahr. Der Hoffnungsträger, den die Forschenden im Screening entdeckten: Sildenafil, besser bekannt unter dem Namen Viagra.

Um zu überprüfen, wie gut Sildenafil bei der Erkrankung anschlägt, braucht es ein Modellsystem, das die Krankheit möglichst gut repräsentiert und es erlaubt, Wirkstoffe realitätsnah zu testen. Einem Team an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf gelang es, ein solches Modell für das Leigh-Syndrom zu fertigen. Dafür entnahmen sie 16 betroffenen Patientinnen und Patienten mit einer Stanze Hautzellen, warfen diese quasi in einen »Jungbrunnen« und stellten daraus pluripotente Stammzellen her. Das Besondere: Diese Zellen können in alle möglichen Zelltypen des Körpers ausdifferenzieren, etwa in Herzmuskel- oder Gefäßzellen.

Die Fraunhofer-Forschenden haben die Düsseldorfer Stammzellen in Vorläufer von Nervenzellen verwandelt – also in kleine dreidimensionale Modelle von Gehirngewebe. »Auf diese Weise hatten wir in der Zellkulturschale das bestmögliche Modell dieser Krankheit, weil es direkt von den Patienten abgeleitet ist«, begeistert sich Pless. Die Zellen in den Untersuchungsbehältern repräsentieren bestimmte Krankheitseigenschaften der Patienten. Mit dem Modellsystem führte das Team ein Screening aller bekannten Wirkstoffe durch. Wie verhalten sich die Mitochondrien, die Kraftwerke der Zellen, bei Zugabe der verschiedenen Wirkstoffe? Reguliert sich die Zellatmung,

die beim Leigh-Syndrom erhöht ist? Dank eines Farbstoffs, der über die Zellatmung in die Mitochondrien eingelagert wird, lassen sich diese Fragen per Hochdurchsatzmikroskop beantworten: Nimmt die Farbe ab, wirkt der Wirkstoff.

Für seine Untersuchungen musste das Forschungsteam die 6000 Substanzen aus der Fraunhofer-ITMP-Wirkstoff-Bibliothek auf die Zellen geben und mikroskopisch analysieren, was bei lebenden, atmenden Zellen nicht ganz einfach ist. Dennoch ist der »Zeitfresser« nicht das Screening selbst, sondern die Standardisierung. Schließlich ist es elementar, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Befinden sich immer gleich viele Zellen in den Vertiefungen der Untersuchungsbehälter? Wie lange und bei welcher Konzentration gibt man den Wirkstoff darauf? Bevor der Prozess automatisiert werden konnte, musste daher jeder einzelne Schritt manuell erprobt und genau definiert werden. Erst später war etwa das Wechseln der Nährmedien oder die Zugabe der einzelnen Wirkstoffe per Roboterhand möglich.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt lag in der Bildauswertung: Für jede der 6000 Substanzen wurden mehrere mikroskopische Aufnahmen erstellt. Insgesamt sind auf diese Weise rund 50 000 Bilder zusammengekommen – eine Menge, die sich nicht mehr per Hand bewältigen lässt. Das Forschungsteam nutzte daher automatisierte Bildanalyseverfahren. »Diese Daten sind ein riesiger Wissensschatz«, freut sich Pless.

Erste Heilerfolge lassen hoffen

Da Sildenafil bereits für Säuglinge mit einer speziellen Lungenerkrankung zugelassen ist, gilt seine Gabe an Kinder als sicher. Deshalb konnten schon erste Heilversuche bei kleinen Patientinnen und Patienten stattfinden, die stark am Leigh-Syndrom erkrankt waren und für die es keinerlei Behandlungsmöglichkeit gab – mit Erfolg. Pless: »Insgesamt wurden bisher sechs Kinder mit Sildenafil therapiert: Sie alle haben klinisch davon profitiert – es ging ihnen zum Teil deutlich besser mit dem Wirkstoff.«

So positiv diese einzelnen Heilversuche stimmen, aus der kleinen Anzahl an Probandinnen und Probanden lässt sich lediglich eine Tendenz ablesen. Im nächsten Schritt braucht es eine klinische Studie, die ab Ende 2026 geplant ist. Da Sildenafil bereits als Wirkstoff zugelassen ist, steht nur eine Wirksamkeitsstudie an, also die Beantwortung der Frage: Ist das Medikament beim Leigh-Syndrom wirksamer als ein Placebo? Zeigt es innerhalb der zweijährigen Studie auch in einer größeren Kohorte eine gute Wirksamkeit, sind die Chancen gut, dass die Apotheken für Patientinnen und Patienten mit Leigh-Syndrom künftig einen passenden Wirkstoff bereithalten. ■

Für jede der
6000
Substanzen
wurden
mehrere
mikros-
kopische
Aufnahmen
erstellt.
Insgesamt
sind auf
diese Weise
rund
50 000
Bilder
zusammen-
gekommen.

Nachhaltig verpackt

Jedes Jahr werden weltweit rund 400 Millionen Tonnen Plastik produziert, ein Großteil landet als Müll in der Umwelt – mit katastrophalen Folgen. Wie Insektenhäute und Reststoffe aus der Pilzverarbeitung helfen können.

Von Dr. Janine van Ackeren



Die Raubfliege hat nicht nur einen chitinhaltigen Panzer, sondern auch starke dornige Beine, mit denen sie ihre Beute festhält.

Greift man im Supermarkt zu Käseaufschnitt, Wurstwaren, Obst oder Gemüse, sind diese oft in Folien auf Erdölbasis verpackt. Dabei ginge es auch deutlich nachhaltiger und umweltfreundlicher: mit Folien hergestellt aus Krabbenschalen, Insektenpanzern oder Pilzmyzel. Nicht direkt natürlich – wer möchte schließlich seine Lebensmittel in Insektenhäute einwickeln –, sondern aus Chitosan, das aus diesen chitinhaltigen »Rohstoffen« gewonnen wird. »Chitin wird vor allem von Krustentieren, Insekten und Pilzen gebildet und ist – nach der pflanzlichen Cellulose – das zweithäufigste Biopolymer der Erde. So fällt es beispielsweise in der Lebensmittelindustrie und der Tierfutterproduktion in großen Mengen als Reststoff an«, erklärt Dr.-Ing. Thomas Hahn vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. »Kommerziell genutzt wird bisher fast ausschließlich das Chitin aus Krabbenschalen, hier liegt der Markt fest in asiatischer Hand. Auch hat Deutschland abgesehen von kleineren Mengen an Krabbenschalen keinen sonderlich guten Zugang zu marinen Quellen – da können wir nicht konkurrieren.« Bei Insekten und Pilzen jedoch bestehe noch viel Potenzial für »Made in Germany«. Werden diese für die Chitosan-Herstellung erschlossen, senkt dies nicht nur die Abhängigkeit von asiatischen Anbietern, sondern ebnet auch den Weg hin zu nachhaltigen, erdölfreien Verpackungen.

Insektenpanzer und Pilzmyzel statt Krabbenschalen

Allerdings lassen sich die Prozesse, die von der Chitosanherstellung aus Fischereiabfällen bekannt sind, nicht ohne Weiteres auf Pilze und Insekten übertragen. Vielmehr müssen die Produktionsverfahren angepasst und mitunter gänzlich neu gedacht werden. Dieser Aufgabe widmen sich die Forschenden des Fraunhofer IGB rund um Hahn. Auf dem Weg vom Fliegenkörper zum Chitosan sind zahlreiche Schritte nötig. Zunächst müssen Mineralien aus Calcium- und Magnesiumsalzen mit Säure aus der Biomasse gelöst und

über eine Fest-Flüssig-Trennung extrahiert werden. Dies lässt den Chitingehalt von etwa 20 auf rund 50 Prozent steigen. Ein anschließender Waschgang mit Wasser neutralisiert den pH-Wert, bevor die Proteine mit Lauge entfernt werden. Übrig bleibt eine Masse, die zu 80 bis 95 Prozent aus Chitin besteht.

Bei Insekten sind sowohl die Häute als auch die Kokons chitinhaltig, ebenso adulte Fliegen als Ganzes. »Bei manchen dieser Reststoffe ist es vorteilhafter, die Reihenfolge der Prozessschritte zu ändern – also zuerst die Lauge und anschließend die Säure zuzugeben«, erläutert Hahn. »Wir haben einen Baukasten an Verfahrensschritten, die wir entsprechend anpassen.« Ist das erhaltene Chitin noch zu dunkel, kommt ein Bleichschritt hinzu, etwa mit Wasserstoffperoxid, bevor das Chitin bei 140 Grad Celsius mit 40- bis 50-prozentiger Natronlauge in das gewünschte Chitosan umgewandelt wird – der kritischste Schritt im ganzen Prozess. »Wir konnten das gesamte Herstellungsverfahren für alle drei Chitinquellen – Insekten, Pilzmyzel und auch Fischereiabfälle – bereits im Pilotmaßstab durchführen und mehrere hundert Gramm Chitosan auf einmal herstellen. Auch eine Skalierung auf Kilomaßstab ist möglich«, begeistert sich Hahn.

Sollen die Prozesse an andere Ausgangsmaterialien wie Insektenpanzer oder Pilzmyzel angepasst werden, ist eine entsprechende Analytik unerlässlich – hier lag die wesentliche Herausforderung für das Forschungsteam. Welche Stoffe sind zu welchem Zeitpunkt enthalten? Wie hoch ist der Chitingehalt? »Wir haben eine schnelle, präzise Analytik entwickelt, mit der wir die komplette Biomasse in ihren einzelnen Bestandteilen sehr genau bestimmen können«, sagt Hahn.

Zero Waste: Alle Bestandteile der Insekten werden genutzt

Dem Forschungsteam ist es außerdem gelungen, den Einsatz von Säure und Lauge bei der Chitosanherstellung auf ein Minimum zu senken, ohne sich Qualitätseinbußen einzuhandeln. »Zudem wollen wir die Recyclingpotenziale der verschiede-

»Kommerziell genutzt wird bisher fast ausschließlich das Chitin aus Krabbenschalen.«

Dr.-Ing. Thomas Hahn, Fraunhofer IGB

denen Stoffströme nutzen«, sagt Hahn. Sprich: Auf lange Sicht wollen sie nicht nur das Chitosan, sondern auch andere in den Rohstoffen enthaltene Komponenten verwerten – zumindest dann, wenn diese einen bedeutsamen Anteil an der Biomasse ausmachen oder einen signifikanten Wert besitzen. Ein Beispiel sind Proteine: Über schonendere chemische oder enzymatische Verfahren sollen sie möglichst heil aus der Biomasse herausgelöst werden und als Ausgangsmaterialien für Proteinfolien in der technischen Anwendung dienen, sei es in Materialverbunden, sei es als bioabbaubare Mulchfolien in der Landwirtschaft. Die extrahierten Mineralsalze könnten wiederum als Zement-Retardierer zum Einsatz kommen: Diese verlangsamen den Aushärtungsprozess von Zement, das Material bleibt somit länger geschmeidig und verarbeitbar.

Was die Folien angeht, die sich aus Chitosan für die Lebensmittelverpackung herstellen lassen: Die Forschenden sind derzeit noch dabei, diese technisch und mechanisch zu charakterisieren und ihre Eigenschaften zu verbessern. Darüber hinaus lässt sich Chitosan auch in der Textilindustrie einsetzen, etwa als Grundlage für wasserabweisende Beschichtungen. Äußerst interessant sind zudem die Melanin-Gruppen, die sich in Panzern, Häuten und Kokons der Insekten finden – etwa für elektrochemische Sensoren und Oberflächen sowie als natürlicher schwarzer Farbstoff. Insekten und Pilze bieten also viel Potenzial, nicht nur zum Einpacken von Obst und Co. ■

1200
Vorfälle
allein im
Januar
2026



Der Feind im Videostream

KI kann Menschen längst nahezu perfekt imitieren. Fraunhofer-Forschende arbeiten deshalb an Lösungen, um Manipulationen in Echtzeit aufzuspüren.

Von Mandy Bartel

Ein Videocall mit dem CEO, mehrere vertraute Gesichter aus dem Kollegenkreis auf dem Bildschirm und die Bitte, eine dringende Überweisung zu tätigen: 2025 ging der Finanzdirektor eines Unternehmens in Singapur einem Deepfake auf den Leim und überwies knapp 500 000 US-Dollar an die Betrüger. Denn was der Businessmann nicht ahnte: Alle Gesprächsteilnehmer des Videocalls waren KI-generiert. Einen riesigen Anstieg solcher Videobetrugsfälle verzeichnete die Cyber Security Agency in Singapur Anfang 2026: 1200 Vorfälle allein im Januar, während es im Vorjahresmonat erst 43 waren. Weltweit nehmen solche Angriffe rasant zu.

KI kann heute Stimmen und Gesichter in Echtzeit täuschend echt nachbilden. Gleichzeitig lassen sich die Fälschungen immer schwieriger erkennen. Denn

Videokonferenzen liefern keine perfekten Bilder: Kompression, schwankende Verbindungen, Weichzeichnungsfilter und unterschiedliche Lichtverhältnisse erschweren die Analyse. Von solchen Deepfake-Angriffen sind nicht nur Videokonferenzen in Unternehmen bedroht, sondern auch bislang sichere videobasierte Verfahren von Banken, die Kunden etwa bei der Eröffnung von Konten zweifelsfrei identifizieren sollen. Standardisierte Interaktionsmuster wie Kopf- oder Handbewegungen und selbst das Zeigen des Personalausweises lassen sich inzwischen mit entsprechenden KI-Tools imitieren.

Software erkennt Videofakes in Echtzeit

Die Herausforderung: Statt nur sichtbare Manipulationen zu detektieren, müssen neue Sicherheits-

»In Zukunft werden wir vielleicht eher dazu übergehen, echte Inhalte als echt nachzuweisen, als Fälschungen als solche zu identifizieren – etwa mit sicheren Signaturen.«

Martin Steinebach, Fraunhofer SIT



Wer ist real, wer ein Fake? Die Unterscheidung wird immer schwieriger.

lösungen zunehmend prüfen, ob der Inhalt des Videostreams nicht wahrnehmbare, aber statistisch auffällige Signaleigenschaften hat. Hier setzen Prof. Martin Steinebach und sein Team am Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT an. In einem Projekt des Nationalen Forschungszentrums für angewandte Cybersicherheit ATHENE entwickelt sein Team aus Mitarbeitenden in Darmstadt und am Fraunhofer Heilbronn Forschungs- und Innovationszentrum (HNFIZ) für Cybersicherheit eine KI-basierte Lösung, die Audio- und Video-Deepfakes kombiniert erkennt. »Wenn ein Gespräch viele Indikatoren aufweist, gibt das System eine Wahrscheinlichkeit aus, ob es sich hier um Deepfake handeln könnte«, erklärt Steinebach. »Dann ist aber immer noch der Mensch gefragt, der mit gezielten Rückfragen oder auch einem Rückruf auf einem anderen Kanal die Echtheit seines Gegenübers verifizieren muss.«

Die Analyse erfolgt lokal, ohne dass Bild- oder Tondaten an einen externen Server übertragen werden. Damit ist sie datenschutzkonform und für Unternehmen geeignet, die vertrauliche Gespräche führen, etwa mit Vorständen, Finanzabteilungen oder externen

Partnern. »Für die lokale Echtzeitanalyse unserer Lösung reicht ein Laptop mit moderner Grafikkarte und zwölf Gigabyte Grafikspeicher«, betont Steinebach. Auch Anbieter von Videokonferenzsystemen können die Software als Plug-in oder fest eingebaute Sicherheitsfunktion in Systemen wie Teams, Zoom oder vergleichbaren Unternehmenslösungen integrieren.

Die Trainingsdaten sind entscheidend

Die Forschenden füttern das selbstlernende System mit echten und manipulierten Audio- beziehungsweise Videodaten. Es lernt so, Unterschiede selbstständig zu erkennen.

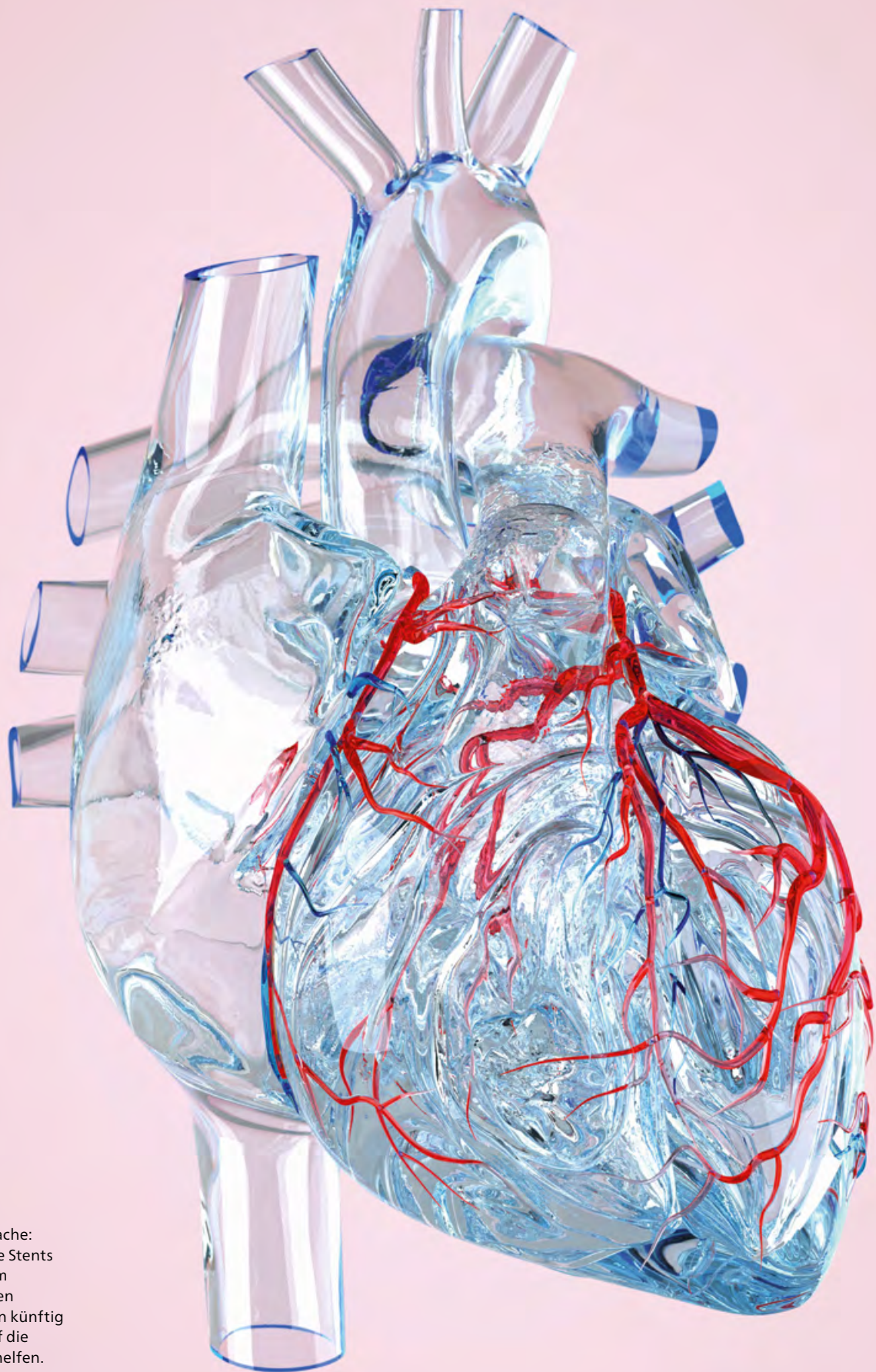
Entscheidend ist, dass die Trainingsdaten ein realistisches Videokonferenzumfeld möglichst gut abbilden. In der KI spreche man von Augmentation, erklärt Steinebach: »Man versieht das Material mit den Störungen, die im realen Betrieb auftreten, und schult das System so, dass es mit diesen umgehen kann.« Da es sich um ein spezialisiertes Modell für eine klar umrissene Aufgabe handelt, ist das Training jedoch deutlich kleiner dimensioniert als bei großen Sprachmodellen.

Derzeit befindet sich der Demonstrator noch in der Proof-of-Concept-Phase. Im nächsten Schritt wollen die Forschenden die Technologie gemeinsam mit Unternehmen und Anbietern von Videokonferenzsystemen weiterentwickeln, um sie zuverlässig, datenschutz- und nutzerfreundlich in deren Infrastrukturen zu integrieren.

Der Mensch bleibt wichtig

Im Fall des Finanzdirektors aus Singapur konnten die Behörden das überwiesene Geld glücklicherweise später sichern. Doch die Gefahr durch Deepfakes wächst weiter. Gleichzeitig können kryptographisch abgesicherte Kommunikation, zusätzliche Authentifizierung und technische Erkennungssysteme das Risiko deutlich senken. Noch. Langfristig könnte sich nach Ansicht des IT-Forensikers die Perspektive auf Deepfakes aber in eine andere Richtung verschieben: »In Zukunft werden wir vielleicht eher dazu übergehen, echte Inhalte als echt nachzuweisen, als Fälschungen als solche zu identifizieren – etwa mit sicheren Signaturen.«

Entscheidend ist und bleibt, so Steinebach, der Mensch: Wer in einer Videokonferenz unerwartet zu einer Geldüberweisung aufgefordert wird, sollte die Identität des Gegenübers immer über einen zweiten Kommunikationskanal prüfen. ■



Herzessache:
Innovative Stents
sollen dem
muskulären
Hohlorgan künftig
besser auf die
Sprünge helfen.

Hilfe fürs Herz

Stents können Schlaganfälle und Herzinfarkte verhindern. Da sie beim Einsetzen die Zellinnenwand schädigen, droht jedoch eine erneute Verengung im Blutgefäß. Fraunhofer-Forschende möchten das Thromboserisiko nun dank speziell beschichteter und sich auflösender Stents senken – sie wurden dafür mit dem senetics Innovation Award 2025 ausgezeichnet.

Von Yvonne Weiß

Die Krankheit verläuft meist lange symptomfrei, bis es zum lebensgefährlichen Ereignis kommt: Arteriosklerose, die Verengung von Blutgefäßen, zählt zu den häufigsten Todesursachen weltweit. Auch in Deutschland sterben Jahr für Jahr mehr als 150 000 Menschen an den direkten Folgen von Gefäßveränderungen. Um Herzinfarkte und Schlaganfälle zu verhindern, werden daher jährlich etwa eine halbe Million Stents implantiert.

Das Problem dabei: Die Röhrchen aus Metall oder Polymeren weiten zwar Verengungen und stabilisieren Blutgefäße, beim Implantieren verletzen sie jedoch das Endothel, die schützende Gefäßinnenwand – das Risiko für eine Thrombose im Stent steigt. Betroffene müssen daher bislang hochdosierte Medikamente einnehmen, oft ihr Leben lang.

Eine Lösung entwickeln Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP im Projekt INNOSTENT. Gemeinsam mit einem Team der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg BTU arbeiten sie an speziell beschichteten und sich auflösenden Stents, welche auch die Bildung möglicher Blutgerinnsel verhindern sollen:

»Für unsere innovativen Stents entwickeln wir eine spezielle Innenbeschichtung, die wachstumsfördernde Proteine enthält«, erklärt Prof. Joachim Storsberg, Experte für Implantate aus dem Forschungsbereich Life Science und Bioprozesse am Fraunhofer IAP. »Auf der neuen Beschichtung wachsen Endothelzellen besser an – und die Regeneration der geschädigten Gefäßinnenwand beschleunigt sich.«

Die Vermutung: Dank der neuen Implantate sinkt das Thromboserisiko nach der Implantation signifikant. Zudem benötigen Patientinnen und Patienten

im Idealfall künftig weniger Blutverdünner. Anders als herkömmliche Röhrchen nimmt der Körper den neuen Stent außerdem nicht mehr als Fremdkörper wahr, sobald er von der schützenden Endothelschicht bedeckt ist.

Das innovative Material bringt weitere Vorteile mit sich. »Unser Stent besteht aus einem degradierbaren Polymermaterial«, erklärt Dr. Anne Krüger-Genge, Humanbiologin und Forscherin am Fraunhofer IAP. »Anders als bei bisherigen Implantaten, etwa nicht-abbaubaren metallischen Stents, sind die Blutgefäße nach der Degradation wieder flexibel. Sie können sich nach Abbau des neuen Implantats wie zuvor verengen und erweitern – und damit die Durchblutung von Organen und Gewebe wie gewohnt regulieren.«

Da der Körper das neue Material nach und nach abbaut, können die Blutgefäße zudem vollständig heilen.

Die Anforderungen an Material und Form sind hoch: »Unser Stent muss im Körper abbaubar sein, zudem muss er die notwendige Druckstabilität für die Gefäßstützung aufweisen«, sagt Dr. Jörg Bohrisch, Materialwissenschaftler am Fraunhofer IAP. Dank einer speziellen Kombination aus Materialentwicklung, einem angepassten Spritzgussverfahren sowie einer Strukturierung mit einem Kurzpuls-UV-Laser konnte das Team die gewünschte 3D-Struktur dennoch herstellen.

Erste Prototypen der innovativen Stents gibt es bereits, im Labor laufen aktuell weitere In-vitro-Untersuchungen. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt BMFTR. Für das Erreichen der Innovationsstufe wurde das Team im Rahmen des senetics Innovation Award 2025 ausgezeichnet. ■



»Auf der neuen Beschichtung wachsen Endothelzellen besser an – und die Regeneration der geschädigten Gefäßinnenwand beschleunigt sich.«

Prof. Joachim Storsberg,
Fraunhofer IAP

Energiewende

Elektrolyse-Plattform – Effiziente Herstellung von Wasserstoff und chemischen Produkten

Grüner Wasserstoff gilt als Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung der Industrie. Ein innovativer Hochtemperaturelektrolyse-Stack erzeugt grünen Wasserstoff mit bislang unerreichter Effizienz und Flexibilität und ist für die industrielle Serienfertigung ausgelegt.

Von Ulla Wolfshöfer

Die Hochtemperaturelektrolyse ist ein hocheffizientes Verfahren zur Wasserstoffherstellung. Dabei wird Wasserdampf in einer Elektrolysezelle in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Vorteil: Dank der hohen Temperaturen kann industrielle Abwärme direkt als Spaltungsenergie genutzt werden. Das spart teuren Strom, beschleunigt die elektrochemischen Reaktionen und optimiert so den Wirkungsgrad. Einem Team des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden ist es gelungen, Hochtemperaturbrennstoffzellen und -elektrolyseure so leistungsfähig, robust und wirtschaftlich zu machen, dass sie die Energiewende nicht nur unterstützen, sondern entscheidend beschleunigen könnten. Dafür wurden Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Stefan Megel und Dr. Sindy Mosch mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2026 ausgezeichnet.

Neuer wissenschaftlich-methodischer Ansatz des Fraunhofer IKTS

»Unser Ziel war von Anfang an, eine Brücke zwischen Elektronen und Molekülen zu schaffen«, sagt Dr. Mihails Kusnezoff, Abteilungsleiter Werkstoffe und Komponenten und Leiter des Geschäftsfelds Energie am Fraunhofer IKTS. Dabei unterscheidet sich der Ansatz des Fraunhofer-IKTS-Teams deutlich von vielen Wettbewerbern: Statt separate Konzepte für Elektrolyseure und Brennstoffzellen zu verfolgen, entwickelten die Forschenden ein System, das beide Betriebswelten gleichermaßen abdeckt.

Entwicklung eines massenproduktionsfähigen, universell einsetzbaren Stacks

Im Labor entwickelten die Forschenden neue Materialien für Elektrolyt und Elektroden, optimierten Mi-

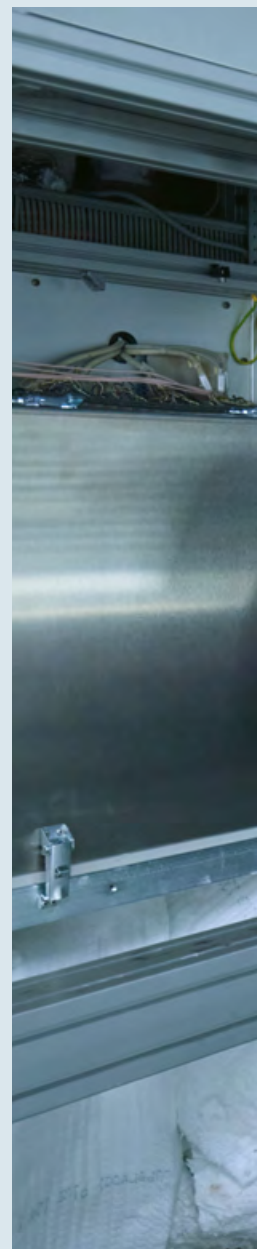
crostrukturen und bauten damit hochleistungsfähige Zellen. »Erst die Kombination vieler Zellen schafft den sogenannten Stack – das Herzstück des Systems. Er ermöglicht die nötige Skalierung, um Wasserstoff in industriellen Mengen zu erzeugen«, erläutert Dr. Sindy Mosch, Forscherin in der Arbeitsgruppe Werkstoffe für gedruckte Systeme am Fraunhofer IKTS. Der technische Durchbruch gelang schließlich durch eine Kombination aus Materialinnovation, Designoptimierung und konsequenter Industrialisierung.

Der Fraunhofer-IKTS-Stack arbeitet stabil in einem erweiterten Temperaturfenster von 750 °C bis 850 °C – ein entscheidender Faktor für die Lebensdauer eines Elektrolyseurs. In diesem Betriebstemperaturbereich lassen sich nicht nur Wasserdampf und CO₂ in Synthesegas über Elektrolyse umwandeln, sondern auch verschiedene Brennstoffe wie Erdgas, Biogas, Methanol, Ethanol oder sogar grünes Ammoniak im Brennstoffzellenmodus für die Stromerzeugung nutzen.

Vom Labor in die Fabrik: Pilotfertigung in Arnstadt

Parallel adressierte das Team die industrielle Skalierung, indem es die metallische Bipolarplatte für eine effiziente Herstellung in einem einzigen Pressschritt neu auslegte und skalierbare Beschichtungsverfahren für Elektroden sowie Kontakt- und Schutzschichten entwickelte. »Für uns war klar: Eine Technologie ist erst dann ein Beitrag zur Energiewende, wenn sie in der Fabrik und nicht nur im Labor funktioniert«, betont Dr. Stefan Megel, Gruppenleiter Keramische Energiewandler am Fraunhofer IKTS.

Die industrielle Reife der Technologie überzeugte auch die Industrie: thyssenkrupp nucera identifizierte den entwickelten Stack als besonders effiziente und vielversprechende Lösung im Bereich der Hochtemperaturelektrolyse. Innerhalb von nur 14 Monaten



Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2026

Forschungs- preise

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

errichtete das Fraunhofer IKTS am Standort Arnstadt eine erste teilautomatisierte Pilotfertigung für die weitere Hochskalierung.

Schlüsseltechnologie für die industrielle Dekarbonisierung

Die Stack-Entwicklung am Fraunhofer IKTS hat nicht nur neue Maßstäbe in Effizienz und technologischer Einsatzflexibilität gesetzt, sondern bildet auch die Grundlage für die industrielle Nutzung von Strom und Abwärme für die hocheffiziente Wasserstoff- und Synthesegaserzeugung. Damit leistet das Team des Fraunhofer IKTS einen direkten Beitrag zur globalen Energiewende und stärkt zugleich die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland. ■



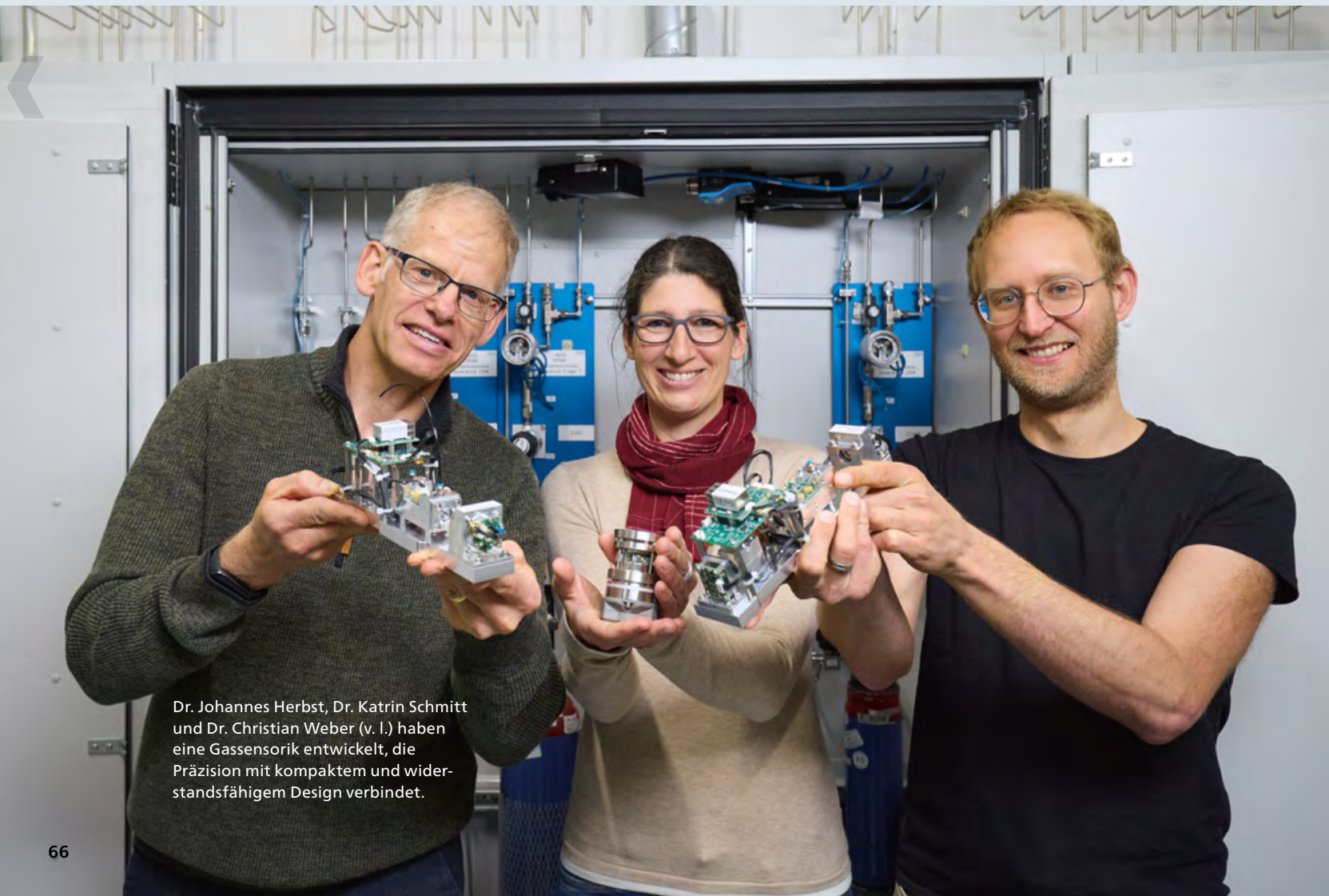
Dr. Stefan Megel, Dr. Sindy Mosch und Dr. Mihails Kusnezoff (v. l.) haben einen Hochtemperatur-elektrolyse-Stack entwickelt, der weltweit neue Maßstäbe setzt.

Messverfahren

Spurengasdetektion – Schnell und zuverlässig per resonanter Photoakustik

Mit der industrietauglichen Weiterentwicklung eines Messverfahrens ist es einem Team des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM gelungen, hochsensitive Sensorik etwa für Klimagase in ein robustes und kompaktes Format zu überführen – und das auf simple und kostengünstige Weise.

Von Lisa Scherbaum



Dr. Johannes Herbst, Dr. Katrin Schmitt und Dr. Christian Weber (v. l.) haben eine Gassensorik entwickelt, die Präzision mit kompaktem und widerstandsfähigem Design verbindet.

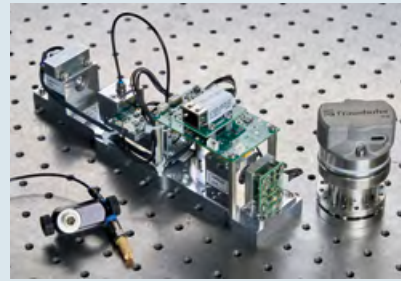
Die Photoakustik ist ein seit über 150 Jahren bekannter Effekt: Werden Gase mit Licht bestrahlt, erwärmen sie sich. Tut man dies gepulst, entstehen periodische Druckänderungen – also Schallwellen, die sich eindeutig einzelnen Gasen zuordnen lassen. Dieser photoakustische Effekt ist die Grundlage für ein sehr genaues Messverfahren, selbst bei geringen Gaskonzentrationen. Doch trotz ihrer hohen Sensitivität fristete die Methode bislang ein Nischendasein, vor allem, weil sie auf akustische Verstärkung durch einen Resonator angewiesen ist: Dieser reagiert sehr empfindlich auf kleinste Veränderungen von Luftdruck, Temperatur oder mechanischer Beanspruchung. Für ein korrektes Messergebnis muss das System aber den »Ton«, also die Resonanzfrequenz, exakt treffen.

Eine Leuchtdiode macht den Unterschied

Genau hier konnte das Team um Dr. Christian Weber, Dr. Katrin Schmitt und Dr. Johannes Herbst vom Fraunhofer IPM nun einen Durchbruch erzielen, für den die Forschenden mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2026 ausgezeichnet wurden: Sie entwickelten ein Sensorprinzip, das mittels einer kleinen Leuchtdiode seine eigene Resonanzfrequenz fortlaufend selbst bestimmt und die optische Anregung automatisch nachführt. Dabei machte das Team aus der Not eine Tugend: »Die Wand des Sensors absorbiert Strahlung und erzeugt ein starkes photoakustisches Signal – ein vermeintlicher Nachteil, der uns umdenken ließ: Maybe it's a feature! Jetzt verwenden wir die Wand in Verbindung mit einer starken zweiten Lichtquelle, um in kurzer Zeit die Resonanzfrequenz zu messen«, so Christian Weber, Projektleiter Integrierte Sensorsysteme am Fraunhofer IPM. Die Resonanzverstärkung bleibt dadurch jederzeit stabil – auch unter wechselnden Bedingungen. Gleichzeitig ermöglicht der geringe Hardwareaufwand Sensorpreise, die bei etwa einem Zehntel der klassischen Geräte liegen.

Erfolgreicher Marktstart mit Leckage-Messungen

Welche Wirkung diese Vereinfachung entfaltet, zeigt die erste große Anwendung: Die Firma Schütz Messtechnik nutzt die Technologie bereits zur Überprüfung von Erd-



Das neuartige Sensorprinzip bestimmt seine eigene Resonanzfrequenz fortlaufend selbst und führt die optische Anregung automatisch nach.

gasnetzen. Dort müssen geringste Methanmengen in der Luft erkannt werden, um Leckagen frühzeitig aufzuspüren: »Dank des kleinen Messkammer-Volumens von rund vier Millilitern statt den bisher notwendigen vier Litern sind die Messungen nun sehr schnell und präzise«, betont Johannes Herbst, Projektleiter Spektroskopie und Prozessanalytik am Fraunhofer IPM. »Mit ihrer kompakten Größe sind die Systeme zudem wesentlich mobiler und flexibler einsetzbar.« In gasisolierten Hochspannungsanlagen ermöglicht die neue Sensorik erstmals eine dauerhafte, integrierte Überwachung der Schutzgasqualität – eine wichtige Voraussetzung für zuverlässige Überwachung und mehr Betriebssicherheit.

»Es ist immer großartig, wenn man ein fertiges Produkt sieht und sagen kann: Hier steckt ein Stück Fraunhofer drin.«

Dr. Katrin Schmitt, Fraunhofer IPM

Gebündeltes Know-how für den Technologietransfer

Die schnelle Marktreife gelang durch die enge Zusammenarbeit von Christian Weber – für seine Promotion zur Photoakustik kürzlich mit dem Hugo-Geiger-Preis 2025 ausgezeichnet –, Katrin Schmitt, Gruppenleiterin Thermische Messtechnik und Systeme, sowie Johannes Herbst mit dem

für den Transfer erforderlichen Fachwissen in der Laserspektroskopie.

Das prämierte Sensorprinzip zeigt exemplarisch, wie aus exzellenter Forschung technologische Wirkung entsteht: »Es ist immer großartig, wenn man ein fertiges Produkt sieht und sagen kann: Hier steckt ein Stück Fraunhofer drin«, so Katrin Schmitt. Die Methangas-Sensoren sind dabei erst der Anfang, denn zahlreiche weitere Applikationen sind absehbar – von der industriellen Prozessüberwachung bis hin zur Umweltmesstechnik. Mit ihrer robusten, selektiven und kostengünstigen Funktionsweise hat die Technologie das Potenzial, die Gas-sensorik grundlegend zu verändern. ■

Optik

EOSS® – Neues industrielles Produktionssystem für präzisionsoptische Schichten

Der Markt für optische Beschichtungen wächst kontinuierlich – ebenso die Anforderungen an präzisionsoptische Systeme. Die Entwicklung des EOSS®-Produktionssystems leitet eine neue Ära in der Präzisionsoptik ein.

Von Ulla Wolfshöfer

Präzisionsoptische Beschichtungen sind Schlüsseltechnologien für moderne Optiksyste-me. Ihre komplexen Schichten stellen hohe Anforderungen an Uniformität, Prozess-stabilität und Produktivität im industriellen Maßstab. Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST hat mit dem Produktionssystem EOSS® (Enhanced Optical Sputtering System) eine einmalige Beschichtungstechnologie für präzisionsoptische Systeme entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht wird und bereits in industrieller Anwendung ist. Stefan Bruns, Dr. Philipp Farr und Dr. Michael Vergöhl wurden dafür mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2026 ausgezeichnet.

Was das EOSS®-System einzigartig macht

Erstmals kommen im EOSS®-System drehbare Doppelrohrkathoden, sogenannte »Rotatable Magnetrons«, zum Einsatz. In Kombination mit neuartigen Mischtargets aus Metall und Metalloxid gelingt es, einen reaktivgasfreien und dadurch extrem stabilen Beschichtungsprozess zu realisieren. Die räumlich getrennte Plasmanachreaktion und die nach oben gerichtete, partikelarme Konstruktion sorgen dafür, dass selbst anspruchsvollste optische Komponenten gleichmäßig und über lange Zeiträume zuverlässig gefertigt werden können.

Ein weiterer Meilenstein ist die Möglichkeit der simultanen doppelseitigen Abscheidung optischer Schichten. »Die Möglichkeit, beidseitig gleichzeitig zu beschichten, eröffnet völlig neue Potenziale für eine Produktivitätssteigerung und die Beschichtung von sehr dünnen Substraten«, erläutert Dr. Michael Vergöhl, Abteilungsleiter

Optische und elektronische Systeme am Fraunhofer IST und wissenschaftlicher Motor des Projekts. Die Leistungsdaten des Produktionssystems sind beeindruckend: Konstante Uniformitäten nahe 100 Prozent werden über einen Produktionszeitraum erreicht, der aufgrund der Rohrka-thoden fast zehnmal so lang ist wie bei herkömmlichen Systemen. Der wartungsarme 24/7-Betrieb über mehrere Wochen, reproduzierbare Gradientenprofile sowie die steuerbare Beschichtung auf geformten 3D-Substraten zeigen die industrielle Reife der Technologie.

MOCCA+® – Maßgeschneiderte optische Messtechnik zur Produktionsüberwachung

Ergänzt wird die Hardware durch MOCCA+® (Modular Optical Coating Control Application), eine modulare, modell- und datengetriebene Steuer- und Monitoring-Software, die Prozessführung, Datenerfassung und Analyse konsolidiert. Damit wird die Echtzeit-Überwachung des gesamten Beschichtungsprozesses möglich – ein Novum in der industriellen Produktion. »Mit MOCCA+® haben wir die Grundlage geschaffen, komplexe Beschichtungsprozesse transparent zu steuern und nachvollziehbar zu dokumentieren. Das Monitoring in Echtzeit erhöht nicht nur die Qualität, sondern auch die Effizienz der Produktion«, betont Stefan Bruns, der technische Anker des Teams.

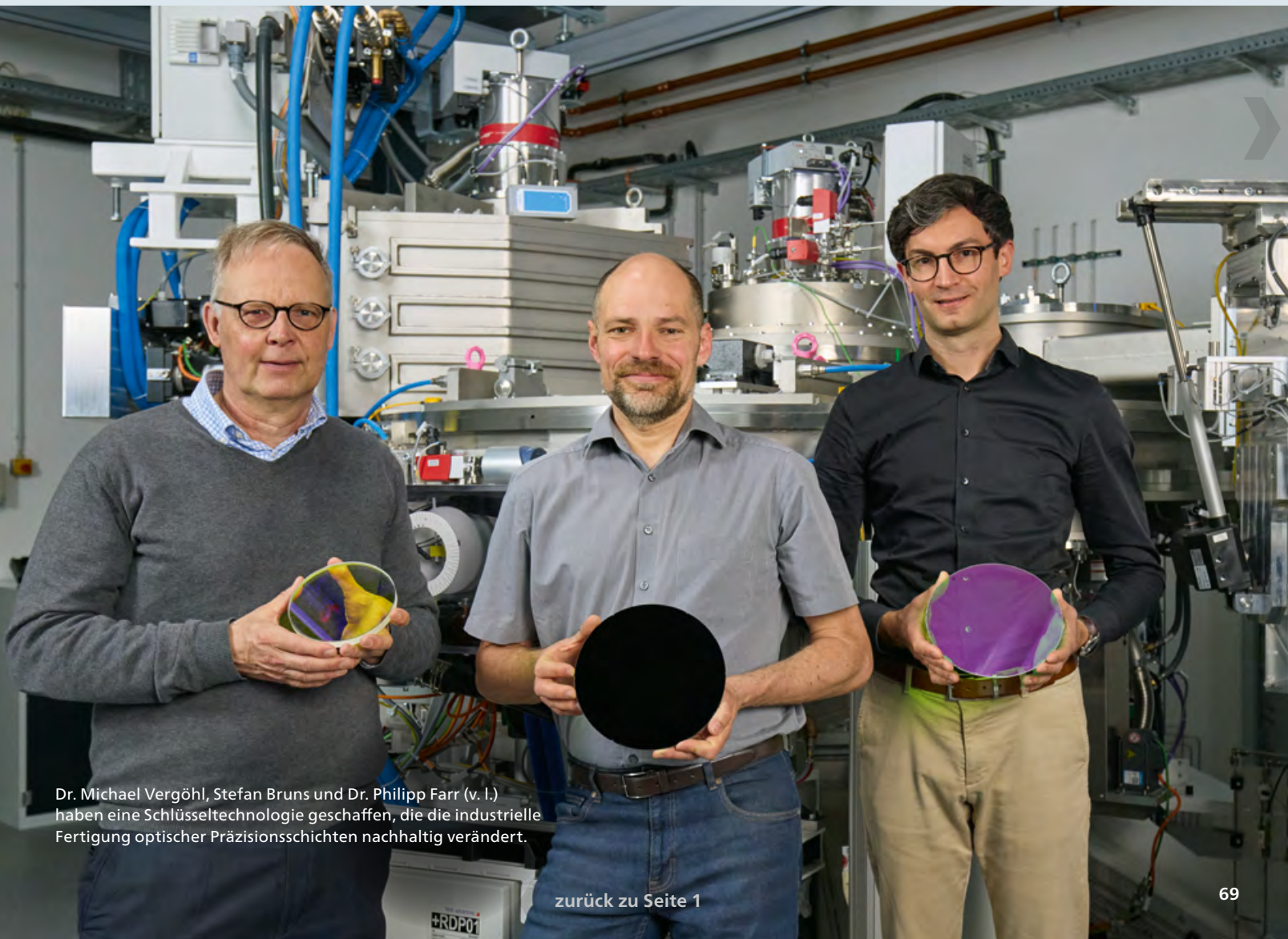
Industrielle Verwertung und wirtschaftliche Erfolge

Mit dem EOSS®-Produktionssystem und der MOCCA+®-Software hat das Fraunhofer-Team eine Schlüsseltechnologie geschaffen, die die industrielle Fertigung optischer

Präzisionsschichten nachhaltig verändert. »Die Zusammenarbeit im Team und mit unseren Partnern war entscheidend, um die Innovation in die industrielle Praxis zu bringen und die wirtschaftlichen Erfolge zu ermöglichen. Wir sind stolz darauf, dass unsere Lösungen auch international sichtbar sind«, so Dr. Philipp Farr, Gruppenleiter Präzisionsoptische Schichten am Fraunhofer IST, der sich vor allem um die industrielle Verwertung kümmert. Anwendungsfelder reichen von autonomem Fahren, Laser- und Medizintechnik über Raumfahrt und Analytik bis zur Umwelttechnik. Die Entwicklung von Laserschutzfiltern für Pilotenbrillen, die bereits erfolgreich in die Serienfertigung übergehen, zeigt die industrielle Reife auch auf 3D-Substraten. Der wirtschaftliche Erfolg unterstreicht die Bedeutung des Projekts: Zahlreiche EOSS®-Produktionssysteme wurden bereits über Partner in den Markt gebracht. ■



Mit dem EOSS®-Produktionssystem können hochpräzise optische Schichten industriell skalierbar, effizient und flexibel hergestellt werden.



Dr. Michael Vergöhl, Stefan Bruns und Dr. Philipp Farr (v. l.) haben eine Schlüsseltechnologie geschaffen, die die industrielle Fertigung optischer Präzisionsschichten nachhaltig verändert.



Langjährige und enge Zusammenarbeit (v. l.):

Dr. Sven Beyer (GlobalFoundries),
Dr. Nandakishor Yadav, Dr. Franz Müller,
Konrad Seidel und Dr. Maximilian Lederer
(Fraunhofer IPMS).

**Wissenschaftspreis des
Stifterverbandes 2026**

Seit mehr als 20 Jahren zeichnen Stifterverband und Fraunhofer-Gesellschaft exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung aus, bei denen Fraunhofer-Institute mit der Wirtschaft und/oder anderen Forschungsorganisationen zusammenarbeiten.

Halbleiterfertigung

Ferroelektrische Speicher – Daten schnell und energieeffizient sichern

Energie sparen, schneller rechnen und Daten dauerhaft speichern: Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Photonische Mikrosysteme IPMS haben gemeinsam mit dem Unternehmen GlobalFoundries eine neuartige Speichertechnologie entwickelt, die genau diese Anforderungen erfüllt. Dem Team ist es gelungen, ultraschnelle ferroelektrische FRAM-Speicher auf Basis von Hafniumoxid in eine bestehende industrielle Fertigungstechnologie zu integrieren.

Von Lisa Scherbaum

Digitale Systeme stellen immer höhere Anforderungen an Speicher: Sie sollen schnell, langlebig, nicht flüchtig und zugleich extrem stromsparend sein. Gerade bei Anwendungen im Automotive-Bereich, der Industrieautomation oder der Medizintechnik stoßen bisherige Speicherlösungen dabei an ihre Grenzen. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts haben das Fraunhofer IPMS und GlobalFoundries diese Problematik adressiert: Dr. Franz Müller, Dr. Maximilian Lederer, Dr. Nandakishor Yadav und Konrad Seidel sowie Dr. Sven Beyer und Dr. Robert Seidel haben eine neuartige Speichertechnologie etabliert, die energieeffiziente Elektronik und neue Rechenarchitekturen ermöglicht. Dafür erhält das Team den Wissenschaftspreis des Stifterverbands »Forschung im Verbund«.

Ferroelektrischer Speicher für dauerhafte Sicherung

Im Zentrum der Arbeiten steht ein FRAM-Speicher (Ferroelectric Random Access Memory), der das ferroelektrische Material Hafniumoxid nutzt, um Informationen dauerhaft zu speichern: »Bei der ferroelektrischen Speichertechnologie werden Ionen sehr schnell in einem Kristallgitter verschoben, was zu einer veränderten Polarisation führt. Genau diesen Effekt kann man zum Speichern von Informationen nutzen«, erklärt Konrad Seidel, Leiter des Geschäftsfelds Emerging Memory Solutions am Fraunhofer IPMS. Der große Vorteil dieser Methode: Die Information bleibt auch ohne Strom erhalten – und kann beliebig oft ausgelesen werden, ohne dabei verloren zu gehen.

Integration in industrielle Chipfertigung

Ein zentraler Erfolg des Projekts ist die Integration der Speicher in eine bestehende industrielle Fertigungstechnologie. Die Forschenden entwickelten einen reproduzierbaren Ansatz, um ferroelektrische FRAM-Zellen in den 22FDX®-Technologieknotten von GlobalFoundries einzubetten – eine Plattform, die speziell auf die Herstellung von Ultra-Low-Power-Mikrochips ausgelegt ist. »Es ist ein großer Schritt, wenn man zeigen kann, dass das, woran man intensiv forscht, auch tatsächlich auf hochskalierten industriellen Strukturen gefertigt werden kann«, sagt Dr. Franz Müller, Leiter des Projekts am Fraunhofer IPMS. Die neuartigen Speicherzellen arbeiten mit energiesparenden Betriebsspannungen unter einem Volt, schalten in wenigen Nanosekunden und weisen eine hohe Zyklenfestigkeit auf, d. h. sie überstehen viele Schreib- und Löschvorgänge zuverlässig.



Benötigt weniger Energie und Zeit – und ist trotzdem sicher: Die neue Speichertechnologie erfüllt die Anforderungen der Industrie.

Grundlage für Edge-KI und neue Anwendungen

Die neue Speichertechnologie ist besonders für Anwendungen relevant, bei denen Energieeffizienz entscheidend ist – etwa autonome Sensoren, batterie- oder akkubetriebene Systeme oder Künstliche Intelligenz direkt im Gerät. »Der Leistungsverbrauch ist mit unserer nicht flüchtigen Speichertechnologie viel geringer als bei bestehenden Lösungen. Das macht es möglich, Künstliche Intelligenz nicht nur in Rechenzentren einzusetzen, sondern direkt in Edge-Anwendungen, bei denen Daten lokal im Gerät verarbeitet werden«, erläutert Dr. Maximilian Lederer, Lead Scientist am Fraunhofer IPMS.

Aus Industriesicht ist dieser Fortschritt entscheidend: »Eine bezahlbare Ultra-Low-Power-Technologie mit einer dafür ideal passenden Speicherlösung ist gerade für Anwendungen wie Edge-KI hochattraktiv. Hier treffen zwei Technologien zusammen, die sich perfekt ergänzen«, betont Dr. Sven Beyer von GlobalFoundries.

Verbundforschung als Erfolgsfaktor

Das Projekt baut auf einer langjährigen, engen Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer IPMS und GlobalFoundries am Standort Dresden auf. Material, Prozess, Bauelement und Fertigung wurden gemeinsam und eng verzahnt im Innovationsökosystem »Silicon Saxony« entwickelt. »Die offene und vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung war die Grundlage dafür, dass unsere Innovation schnell in ein realistisches Anwendungsszenario überführt werden konnte«, so Konrad Seidel. Die mit gebündelten Kräften schnell zur Marktreife geführte Technologie schafft eine wichtige Basis für leistungsfähige, robuste und energieeffiziente elektronische Systeme der nächsten Generation – und stärkt damit die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im international stark umkämpften Markt der Halbleiterfertigungstechnologien. ■

Foto & Fraunhofer

Leichtes treibt gut

Der Rhein schrieb diesen Sommer Geschichte, allerdings keine gute: Auf nur noch 45 Zentimeter fiel der Pegelstand bei Köln Mitte August. Das Niedrigwasser bremste die Binnenschifffahrt auf Europas wichtigster Wasserstraße aus, ließ Lieferketten im Wortsinn versiegen. Eigentlich sind niedrige Rheinpegel im Spätsommer und Herbst kein ungewöhnliches Phänomen. Doch ein schneearmer Winter gepaart mit einem extrem regenarmen und heißen Sommer führten zu einem Tiefpunkt (nicht nur) am Rhein.

Je flacher die Flüsse, desto mehr Gewicht bekommt der Leichtbau in der Schiffskonstruktion. Denn jedes hier eingesparte Kilogramm senkt den Tiefgang eines Schiffes. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU setzen dafür auf eine Sandwich-Bauweise, bei

der ein leichter Aluminiumschaumkern zwischen dünne Stahl- oder Aluminiumbleche eingebracht wird. Entwickelt für Werkzeugmaschinen oder Gehäuse von Batterien in E-Autos, sind solche Sandwich-Elemente auch bestens geeignet etwa für den Innenbereich von Schiffen, wie Dr.-Ing. Jörg Hohlfeld, Leiter der Gruppe Metallschaum am Fraunhofer IWU, betont: »Bei etwa 30 Prozent Mindergewicht gegenüber herkömmlichem Schiffbaustahl stehen sie bisherigen Stahlplatten an Steifigkeit keineswegs nach.«

Der Vorteil: Bei Niedrigwasser können leichtere Schiffe mehr Fracht transportieren oder auch dann noch fahren, wenn schwergewichtige Wettbewerber an ihre Grenzen stoßen. Was früher vor allem eine Frage der Effizienz war, wird zunehmend zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

Die Burg Pfalzgrafenstein bei Kaub ragt auch bei normalem Pegelstand aus dem Rhein – nicht allerdings die Felsinsel, auf der die Wachstation 1327 errichtet wurde.





DEUTSCHLAND

Saubere Schifffahrt

Ein KI-gestütztes Energiemanagementsystem, das den Kraftstoffverbrauch und die umweltschädlichen Emissionen von Schiffen senken soll, entwickeln Forschende im europäischen Projekt AIMPERES unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Entwurfstechnik Mechatronik IEM. Ziel ist, die Schifffahrt klimafreundlicher zu machen, ohne dafür neue Schiffe bauen oder alte aufwendig umgestalten zu müssen. Das modulare System nutzt Künstliche Intelligenz, um Emissionen in Echtzeit zu überwachen, Betriebsdaten auszuwerten und mithilfe Digitaler Zwillinge die Energieeffizienz eines Schiffes zu analysieren. Auf dieser Grundlage erhalten Besatzung und Reedereien konkrete Empfehlungen, wie sich der Schiffsbetrieb effizienter und nachhaltiger gestalten lässt. Die Technologie kann in bestehende Bordsysteme integriert werden und ist für unterschiedliche Schiffstypen geeignet. Das System soll in den kommenden drei Jahren für Binnen-, Küsten- und Hochseeschiffe entwickelt werden und ermöglichen, mindestens fünf Prozent Kraftstoff einzusparen sowie die Emissionen von Stickoxiden, Schwefeloxiden und Feinstaub deutlich zu reduzieren.

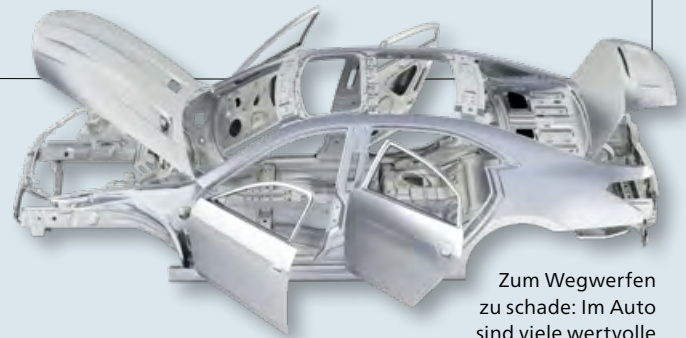


Der weltweite Schiffsverkehr ist für etwa 2,3 Prozent der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich.

Fraunhofer international



Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Zum Wegwerfen zu schade: Im Auto sind viele wertvolle Werkstoffe verbaut.



DEUTSCHLAND

E-Autos recyceln

Den CO₂-Fußabdruck von Elektrofahrzeugen um mindestens 25 Prozent senken und den Anteil wiederverwendeter Materialien deutlich steigern wollen Forschende im EU-Projekt ZEvRA. Unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU arbeiten 28 europäische Partner aus Wissenschaft und Industrie daran, zentrale Werkstoffgruppen eines E-Autos – darunter Stahl, Aluminium, Kunststoffe, Glas, Reifen und Seltene Erden – vollständig in geschlossene Materialkreisläufe zu integrieren.

Diese Stoffe machen etwa 84 Prozent des Gesamtfahrzeuggewichts aus. Erste Demonstratoren, wie ein Kotflügel aus aufgearbeitetem Stahl oder Reifen mit hohem Recyclinganteil, sind weit fortgeschritten. Auch im Bereich Aluminium, Kunststoff und Verbundmaterialien konnten Bauteile mit einem Recyclinganteil von bis zu 97 Prozent realisiert werden. Auf Basis des Referenzfahrzeugs Škoda Enyaq wurde ein modulares Fahrzeugkonzept entwickelt. Ein physischer Prototyp mit Projektbauteilen soll bis Ende 2026 entstehen.



FRANKREICH

Pilotfertigung für Europas KI-Zukunft startet

Europas Abhängigkeit von Halbleiterlieferketten aus Asien und den USA verringern soll eine neue Pilotlinie für Edge-AI-Technologien. In dem EU-Projekt PREVAIL arbeiten Forschende der Fraunhofer-Institute für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, für Photonische Mikrosysteme IPMS, für Elektronische Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT und für Integrierte Schaltungen IIS an der Chipintegration, nanoelektrischen Speichertechnologien, Vertrauenswürdigkeit und Schaltungsdesign.

Edge-AI-Anwendungen verarbeiten Daten, wo sie entstehen. Das bietet Vorteile für die Sicherheit und

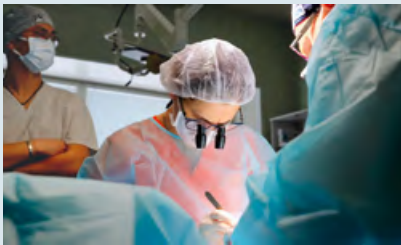
Geschwindigkeit von KI-Systemen. Die PREVAIL-Pilotlinie wird derzeit aufgebaut, neue Anlagen an den Partnerstandorten in Belgien, Deutschland, Finnland und Frankreich installiert. Ziel ist die europäische Entwicklung und Fertigung von Schlüsseltechnologien.



Bisher haben europäische Firmen nur eingeschränkt Zugang zu fortschrittlichen Halbleitertechnologien.



ÖSTERREICH

KI erkennt bösartiges Gewebe in Sekunden

Während der OP steigt mit jeder Minute mehr das Risiko für Komplikationen.

Um Tumorgewebe in der Leber gezielt entfernen zu können, ist es wichtig, es schnell und sicher zu identifizieren. Eine neuartige Methode, mit der sich während der Operation innerhalb weniger Sekunden verdächtiges Gewebe überprüfen lässt, haben Forschende von Fraunhofer Austria gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT und dem Uniklinikum Aachen entwickelt. Erstmals wer-

den dafür hochauflösende 3D-Aufnahmen des Lebergewebes mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) mit einer KI-gestützten Anomalie-Erkennung kombiniert. Das Verfahren kann aufwendige histologische Untersuchungen ergänzen, die Operationsdauer verkürzen und die Belastung für Patienten und Patientinnen sowie OP-Teams reduzieren. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass das Training der KI ausschließlich mit Aufnahmen gesunden Gewebes erfolgt und dadurch erheblich beschleunigt werden kann. Abweichungen von der Norm erkennt die KI zuverlässig: In einer Studie erreichte die Methode eine durchschnittliche Treffergenauigkeit von 81 Prozent. Als Nächstes soll die Technologie unter realen OP-Bedingungen erprobt und für den klinischen Einsatz weiter optimiert und miniaturisiert werden.



INDIEN

Smart anbauen

Pflanzen, die hydroponisch, also ohne Erde, angebaut werden, verbrauchen weniger Wasser, wachsen schneller und liefern höhere Erträge. Um den Einsatz von Wasser und Nährstoffen in Hydrokulturanlagen zu optimieren, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM gemeinsam mit internationalen Partnern eine Technologie entwickelt, die die Nährstoffversorgung automatisiert überwacht und steuert. Mithilfe elektrochemischer Sensoren auf einem mikrofluidischen Chip misst das Auto-Nutri-System gleichzeitig bis zu fünf verschiedene Nährstoffionen. Fehlende Nährstoffe werden automatisch nachdosiert. Die kontinuierliche Überwachung ermöglicht eine gezieltere Pflanzenversorgung und spart Wasser. Erste Praxistests in Farmbetrieben in Indien zeigten präzise und zuverlässige Ergebnisse auf Laborniveau. Über die Landwirtschaft hinaus sehen die Forschenden Anwendungsmöglichkeiten unter anderem in der Abwasserüberwachung, der Kontrolle von Bioreaktoren sowie langfristig beim Pflanzenanbau in extremen Umgebungen.



Der Klimawandel erfordert alternative Anbaukonzepte.

Fliegende Augen und Ohren

Smarte Frühwarnsysteme:
Ein Fraunhofer-Projekt macht aus
Drohnen intelligente Helfer für mehr
Sicherheit auf Großveranstaltungen.

Von Iris Röhl

Sie wollten nur feiern. Tausende Menschen drängten am 24. Juli 2010 in Richtung der wummernden Beats durch einen Tunnel und über eine Rampe auf das ehemalige Güterbahnhofsgelände der Stadt Duisburg. Am späten Nachmittag wurde das Gedränge auf der Loveparade so groß, dass 21 Besucher starben; mehr als 600 weitere Menschen wurden zum Teil schwer verletzt. Auch auf dem Münchner Oktoberfest ging am 27. September 2025 nichts mehr: Die Zugänge zum Festgelände mussten wegen des Besucherandrangs zeitweise abgeriegelt werden. Wie könnte man solche gefährlichen Situationen in Zukunft rechtzeitig erkennen? Forschende von zwei Fraunhofer-Instituten haben darauf jetzt eine technische Antwort gefunden.

DRUM heißt ihr Projekt, kurz für »Drohnenbasierte Unterstützung der BOS bei Massenveranstaltungen«. BOS steht hier für »Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben«, sprich: Polizei, Feuerwehr, Ordnungsamt, Rettungsdienst und Ähnliches. Damit sie bei Groß-Events bedrohliches Gedränge frühzeitig identifizieren können, helfen immer häufiger Drohnen. Sie liefern Bilder aus der Vogelperspektive, zeigen Engstellen, Menschenströme und Rettungswege. Doch bislang blieb ihre Rolle oft erstaunlich schlicht: eine fliegende Kamera, deren Aufnahmen Menschen am Bildschirm auswerten und an die Einsatzleitung per Funk weitergeben müssen. Das kostet Zeit, ist ermüdend und braucht erfahrene Beobachter.

Genau hier setzt das Forschungsprojekt DRUM an. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe und des Fraunhofer-





Wegen Überfüllung geschlossen: Auf der Wiesn 2025 wäre es beinahe zu einer Katastrophe gekommen.

Foto: Peter Kneffel/dpa

Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE in Wachtberg bei Bonn entwickelten ein System, das Drohnen nicht nur sehen, sondern auch hören lässt – und das ihre Daten mithilfe Künstlicher Intelligenz in Echtzeit analysiert.

Das System besteht aus einer Drohne mit Kamera und einem ausgeklügelten System aus mehreren Mikrofonen. Hinzu kommt eine Software, die entweder auf einem Laptop bei Einsatzkräften vor Ort oder zentral in einem Rechenzentrum läuft. »Beides hat Vorteile«, sagt Arne Schwarze. Der Informatiker leitet am Fraunhofer FKIE die Forschungsgruppe »Systems for Situational Awareness« und erklärt: »Beim Betrieb vor Ort sind die Anforderungen an die Kommunikationsanbindung geringer, das System ist also sehr robust. Läuft die Software in einem Rechenzentrum, müssen die Nutzer dagegen keine speziellen Rechner und Software anschaffen. Festivalbetreiber können den Service zum Beispiel nur für die Veranstaltungsdauer buchen.«

Bild-, Ton- und Lagedaten der Drohnen übersetzt die Software in konkrete Hinweise: Wie viele Menschen befinden sich gerade in einem bestimmten Bereich? Wo entstehen gefährliche Verdichtungen? Aus welcher Richtung kommen eine Explosion oder Schüsse? Die Ergebnisse erscheinen direkt auf einer digitalen Lagekarte, auf der auch wichtige Zusatzinformationen wie Notausgänge verzeichnet sind. »Wir liefern die Auswertung. Welche Maßnahmen daraus folgen müssen, entscheiden dann die Fachleute der Sicherheitsbehörden«, erläutert Michael Grinberg, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IOSB in der Abteilung Videoauswertesysteme.

Die Idee zum Projekt kam durch eine Fraunhofer-interne Ausschreibung für einen Demonstrator für KI-Anwendungen. Die beiden Institute hatten schon oft zusammengearbeitet, zum Beispiel im Vorgängerprojekt IDEAL. Dabei ging es darum, mithilfe von Drohnenbildern vermisste Personen zu finden und eine Situation mit zahlreichen Verletzten aus der Luft aufzuklären. »In DRUM haben wir jetzt die automatisierte Live-Auswertung von Bild- und Tonaufnahmen zusammengebracht und in einer gemeinsamen Lagedarstellung visualisiert«, so Grinberg. Dass Sicherheitsorganisationen sich eine solche Lösung wünschen, wussten die Forschenden aus Workshops mit Feuerwehr & Co. Um die Bildauswertung und die Verortung der Ergebnisse hat sich das Fraunhofer IOSB gekümmert, um die Audio-Komponente und die Darstellung in einer Lagekarte das Fraunhofer FKIE.

Diese Lagekarte stammt aus einem Projekt des FKIE namens »lokik«, das im Nachgang der Flutkatastrophe 2021 entwickelt wurde, um die Koordination in der frühen Phase einer großflächigen Notlage zu verbessern. Am Fraunhofer IOSB wiederum werden seit vielen Jahren ►

Verfahren zur Personenzählung in Bildern erforscht. Sie wurden für stationäre Überwachungskameras entwickelt und kamen dieses Jahr erstmalig auch auf dem Oktoberfest in München zum Einsatz. Drohnen stellen die Algorithmen jedoch vor völlig neue Herausforderungen. Sie fliegen in wechselnden Höhen und mit diversen Kameraeinstellungen. Mal blicken sie senkrecht nach unten, mal schräg auf das Geschehen. Einzelne Köpfe lassen sich aus großer Höhe oft gar nicht mehr erkennen.

Deshalb zählt das bei DRUM eingesetzte Verfahren nicht einzelne Personen, sondern arbeitet mit Dichteschätzungen. Die Künstliche Intelligenz analysiert Bildbereiche Pixel für Pixel und berechnet daraus, wie viele Menschen sich höchstwahrscheinlich in einem Abschnitt aufhalten. Um ihr das beizubringen, haben die Forschenden bei verschiedenen Massenveranstaltungen mehrere hundert Bilder aufgenommen, zum Beispiel beim Kölner Karneval. Diese mussten dann »annotiert« werden. Das heißt, die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen erklärten der KI, auf welchem Bild wie viele Menschen zu sehen waren.

Noch anspruchsvoller ist die akustische Analyse. Denn Drohnen erzeugen selbst erhebliche Geräusche, die wichtige Audiosignale vom Boden überlagern können. Die Lösung steckt in einem speziellen Mikrofonarray, das die Forscher als »Krähennest« bezeichnen: Mehrere räumlich zueinander versetzte Mikrofone nehmen gleichzeitig Geräusche aus verschiedenen Richtungen auf. Anschließend filtert die Software störende Hintergrundgeräusche heraus. Künstliche Intelligenz sucht in den bereinigten Audiodaten nach charakteristischen Mustern – etwa nach Hilfschreien, Schüssen oder einem Knall.

Dabei greifen die Forscher zu einem Trick: Sie verwandeln Schall in Bilder, sogenannte Spektrogramme. Diese Bildmuster kann die KI ähnlich auswerten wie Fotos. Im DRUM-System erkennt sie nicht nur das Geräusch, sondern ordnet ihm auch eine exakte Position auf der Karte zu.

Die Einsatzleitung sieht nicht mehr nur Rohdaten, sondern konkrete Hinweise: Hier steigt die Personendichte. Dort bewegt sich eine Menschenmenge ungewöhnlich schnell. An dieser Stelle wurde ein Knall erkannt. Schwarze: »Die Künstliche Intelligenz ersetzt dabei nicht den Menschen. Sie lenkt seine Aufmerksamkeit aber auf die entscheidenden Stellen.«

»Die Künstliche Intelligenz ersetzt dabei nicht den Menschen. Sie lenkt seine Aufmerksamkeit aber auf die entscheidenden Stellen.«

Arne Schwarze, Fraunhofer FKIE

Den fertigen Demonstrator haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler inzwischen bei Feuerweherschulungen und Fachmessen vorgestellt. Die Reaktion der Fachleute? »Ist immer die gleiche«, lacht Grinberg: »Können wir das bitte haben?«

Bis dahin sind allerdings noch einige Schritte nötig. Zwar genügt für die Bildaufnahme eine handelsübliche Drohne, wie sie viele Rettungsstellen schon verwenden, sofern diese auch Metadaten aufzeichnet, wie Geschwin-

digkeit, Lage und Ähnliches. Für das spezielle Mikrofon-Ensemble hat sich bislang nur für den militärischen Bereich ein Partner für die Weiterentwicklung gefunden. »Und unser System muss erst noch weiter validiert werden in realen Szenarien«, betont Grinberg. Um das zu finanzieren, haben sich die Forschenden vom Fraunhofer IOSB aktuell bei einer Ausschreibung des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt beworben.

Für die Zukunft können sich die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zahlreiche weitere Anwendungsfelder ihrer Entwick-

lung vorstellen – immer mit dem Hintergrund, Drohnen-daten auszuwerten, um gefährliche Situationen frühzeitig zu erkennen. So kann man zum Beispiel auch Radarsensoren an die Fluggeräte montieren oder LiDAR – ein System, das mithilfe von Laserstrahlen Entfernungen misst und exakte Abbilder der Umgebung erstellt. LiDAR wird zum Beispiel beim autonomen Fahren verwendet, aber auch von Saug- und Mährobotern. Arne Schwarze ist zuversichtlich: »Unser System ist modular aufgebaut, wir können Daten von verschiedensten Sensoren integrieren – das haben wir bereits in unterschiedlichen Projekten gezeigt.«

Sein Kollege Grinberg kann sich vorstellen, dass zukünftig auf dem Dach jeder Feuerwehrrstation eine technologisch entsprechend aufgerüstete Drohne geparkt ist. »Die würde bei einem Alarm sofort losfliegen und wäre wahrscheinlich noch vor den Einsatzkräften vor Ort, um ein Lagebild zu senden.« Auch auf Einsatzfahrzeugen könnten kabelgebundene Drohnen installiert sein, die über längere Zeit ohne Zwischenlandung die Lage aus der Luft beobachten. Auf jeden Fall kann die Fraunhofer-Technologie vielleicht bald dabei helfen, dass das musikbegeisterte Publikum eines Festivals sich sorglos an den Beats freuen kann – weil die Sicherheitsbehörden die Lage bestens im Blick haben. ■

Aus Vision wird Zukunft

Die Fraunhofer-Gesellschaft als Innovationsmotor



80 Prozent der angezeigten Cyberangriffe richteten sich im Jahr 2025 gegen kleine und mittlere Unternehmen. Die sind häufig nicht ausreichend geschützt.

Wussten Sie eigentlich ...

wie Sie sich vor Cyberangriffen besser schützen können?

Das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE hat mit AMIDES ein frei verfügbares Open-Source-System entwickelt, das mithilfe Künstlicher Intelligenz gezielt Cyberangriffe erkennt, die herkömmliche Signaturprüfungen umgehen. Der Ansatz kombiniert Maschinelles Lernen mit bestehenden Sicherheitsregeln und ist darauf ausgelegt, möglichst wenig Fehlalarme zu erzeugen. Die Innovation stärkt die digitale Sicherheit von Unternehmen und anderen Organisationen, da sie bestehende IT-Sicherheitsinfrastrukturen effizient erweitert. Gerade Firmen mit einer zentralen Sicherheitsabteilung profitieren von einer praxistauglichen, transparenten und kosteneffizienten Lösung zur Cyberabwehr. ■

Foto: amgum/istockphoto

Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Wollen Sie das Fraunhofer-Magazin sofort bei Erscheinen in Ihrem Briefkasten – kostenlos? Nutzen Sie unseren Online-Bestellservice für Print und Digital.



Schritt für Schritt in die Zukunft

Der Mensch gewinnt in der Arbeitswelt neue Kollegen: Robotik gibt der Künstlichen Intelligenz einen häufig menschenähnlichen Körper. Diese humanoiden Roboter sollen Hilfestellungen in den Fabrikhallen leisten. Wirtschaftlich schaffen sie neue Chancen für Automobilzulieferer und Maschinenbau. Denn deren Stärken in Präzisionsmechanik, Systemintegration und industrieller Fertigungstechnologie sind besonders gefragt.



Vincent Bezold,
Fraunhofer IPA