

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

**Aber bitte mit
Köpfchen**
Wie sich KI und
Robotik verbinden

Raum für große Ideen

Gründen – ein
Gewinn für die
Gesellschaft



Amelie Reigl,
Gründerin
TigerShark Science

Schutz vor Cyberangriffen
So schafft Quantentechnologie mehr
Sicherheit für kritische Netzwerke

Natürlich wärmen
Reizthema Wärmepumpe:
Jetzt gibt es neue Chancen



Exklusive Führung
»Cyber Defense
Center« XM Cyber &
»KI-Pavillon« experimenta

7. Fraunhofer Alumni Summit 2024

»Wohnen, arbeiten, leben –
wo KI Alltag sein wird«
15. November 2024, BCH Heilbronn

Was mich zuversichtlich macht

Von Prof. Holger Hanselka

Noch freuen wir uns über den Spätsommer, doch schon weht ein eisiger Wind. »Die Stimmung in der deutschen Wirtschaft hat sich auch im August weiter verschlechtert«, lese ich. Der ifo-Geschäftsklimaindex ist zum dritten Mal in Folge gefallen. Die 9000 befragten Führungskräfte beurteilen die Aussichten für die kommenden Monate pessimistisch. Zum Fühlen kommen Fakten. Die Wirtschaftsleistung ging zwischen April und Juni um 0,1 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum zurück, berichtet das Statistische Bundesamt. Manchem gilt die deutsche Wirtschaft, ich zitiere, als das »Wachstumsschlusslicht der gesamten Euro-Zone«. All das hat sicher seine Berechtigung. Und doch erlebe ich in meinem Alltag, in meinem Arbeitsalltag unser Deutschland ganz anders.

Seit einem Jahr habe ich die Freude, die Fraunhofer-Gesellschaft als Präsident zu führen. In meinem ersten Amtsjahr habe ich Fraunhofer kennengelernt als eine hochagile Gemeinschaft, in der Menschen arbeiten, die für ihre Aufgaben »brennen«. Das ist nun ein eher deutsch-nüchterner Satz. Das Fraunhofer-Magazin stellt in seiner aktuellen Ausgabe einige Gründerinnen und Gründer vor, die im Schulterschluss mit der Fraunhofer-Gesellschaft ihren Weg von der Geschäftsidee bis zum Geschäft erfolgreich gegangen sind (ab S. 10). Einer von ihnen ist der Kanadier Hunter King, der 2016 nach Deutschland und zum Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig kam. Bei ihm lodert im »Brennen« das Feuer bis heute: »Bei Fraunhofer habe ich einige der intelligentesten, leidenschaftlichsten und fürsorglichsten Menschen getroffen, mit denen ich in meinem Leben zusammenarbeiten durfte, und ich habe meine Zeit dort geliebt«, sagt der Unternehmer. Und er fügt hinzu: »Ich bin unglaublich dankbar, dass ich die Beziehung zu ihnen fortsetzen kann.«

Ist es nicht diese Begeisterung, ist es nicht genau diese Leidenschaft, die wir brauchen? Niemand wird leugnen, dass sich Deutschland durch all die Krisen nicht auf dem einfachsten Weg befindet. Aber hat nicht jeder in seinem Leben schon die Erfahrung gemacht, dass oft die schwierigsten Zeiten auch die produktivsten und die kreativsten waren? Gerade hat IfD Allensbach eine Umfrage veröffentlicht mit der Frage, »was wichtig ist, um Deutschland vor-

Editorial



Prof. Holger Hanselka

anzubringen, um Deutschland eine gute Zukunft zu sichern«. 58 Prozent der Befragten im Westen und sogar 65 Prozent im Osten gaben zur Antwort: »Dass in Deutschland wissenschaftlicher Fortschritt und Innovationen gefördert werden«. Innovationen zu erarbeiten und wissenschaftlichen Fortschritt schnellstmöglich in die Anwendung und in die Wirtschaft zu bringen: Genau das ist die DNA der Fraunhofer-Gesellschaft. Diese Ausrichtung des Fraunhofer-Modells ist seit 1973 einzigartig im deutschen Innovationssystem, und sie ist es, die Fraunhofer systemrelevant macht.

Der Transfer durch Start-ups und Spin-offs, wie ihn die Titelgeschichte dieses Fraunhofer-Magazins beschreibt, ist ein wichtiger Weg, aber neben unserem Kerngeschäft Vertragsforschung für die Wirtschaft nur ein Weg für Fraunhofer. Wobei ich zugebe: Wir sind stolz darauf, dass 96 Prozent der Ausgründungen nach drei Jahren weiter aktiv sind. Da zahlt sich Fraunhofers Nähe zur Wirtschaft im wahrsten Sinne aus.

Niemand weiß, was die Zukunft bringt. Sicher aber ist: Wissen und Forschung sind die Faktoren, die uns auch in Zukunft voranbringen werden. Die Leidenschaft bei Fraunhofer für Wissen, für Forschung und für den Transfer – das sind die Faktoren, die mich zuversichtlich machen.

Ihr

Prof. Holger Hanselka
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt



38 KI-Robotik Maschine denkt mit

Als klugen Helfer für Industrie und Logistik beschreibt Leon Siebel-Achenbach vom Fraunhofer IML den flinken evoBOT®.



28 Die Gedanken sind frei

Unabhängige Forschung als Basis des industriellen Wohlstands: Ein Plädoyer von Dr. phil. Nicola Leibinger-Kammüller, Vorstandsvorsitzende Trumpf SE + Co. KG.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

26 **Schutz vor Cyberangriffen**
Wie lassen sich kritische Netzwerke besser vor Hackerangriffen schützen?

28 **Stimme aus der Wirtschaft**
Dr. phil. Nicola Leibinger-Kammüller, Vorstandsvorsitzende und Gesellschafterin Trumpf SE + Co. KG

30 **Mehr Sicherheit für Vaper**
Eine Fraunhofer-Entwicklung ermöglicht erstmals die markenunabhängige Analyse von E-Liquids



10 Titel Denken. Handeln. Gründen.

Amandine Perez will mit ihrem Unternehmen Sunbloom Proteins und einer Fraunhofer-Technologie den Ernährungswandel vorantreiben.

10 **Aus der Wissenschaft in die Wirtschaft**
Ausgründungen transferieren Forschungserfolge von Fraunhofer in die Anwendung

15 **Hautsache**
Das Biotech-Start-up TigerShark Science entwickelt innovative Testverfahren für Medizin und Kosmetik

18 **Leck-Tech**
Ein Kanadier bringt eine Methode zur Detektion von Lecks in Wasserstoffleitungen auf den Markt

20 **Datenlust**
Die Digitalisierung der Städte smart beschleunigen

22 **Durchatmen**
Inhalationstherapie für Frühchen: Ein Start-up für einen guten Start ins Leben

24 **Kernfrage**
Besser essen: Proteine aus Sonnenblumen

32 Im Schwarm Land und Leute schützen

Intelligente Drohnentechnologie als innovative Verstärkung für die Bundeswehr

35 Staffellauf des Wissens, Folge 13

Was kann Forschung in diesen Zeiten für unsere Sicherheit tun, Herr. Prof. Beyerer?

38 Jetzt mit Köpfchen!

KI plus Robotik: Wie werden smarte Maschinen unser Arbeits- und Privatleben verändern?

50 3 x 3 Fragen: KI-Robotik

Brauchen wir humanoide Roboter? Fraunhofer-Forscher über Wunsch und Wirklichkeit

52 Ein Bild von einem Apfel

Digitale Tools für einen effizienten und nachhaltigen Obstbau

52 Den Apfel im Blick

Eine Sensorbox sammelt übers Jahr Daten, um den Obstanbau zu optimieren.



70 Kuschelig warm

Alternative Kältemittel können die Effizienz von Wärmepumpen noch weiter steigern.

55 Hot oder Schrott?

Antimon dringend gesucht: Das Fraunhofer IIS ist im Bergbau fündig geworden

56 Die Sonnenwende

Trotz Top-Ergebnissen in der Solarenergie bleibt in Deutschland viel zu tun

60 Kleiner Krebs, große Wirkung

Ein neuartiges Verfahren soll den Einsatz von Wirbeltieren in Chemikalientests drastisch reduzieren

62 Nachhaltig schlemmen

Am Fraunhofer IVV arbeitet ein Team am veganen Käsegenuss

64 Intelligente Interaktion im Auto der Zukunft

Autonom fahrende Pkw prognostizieren künftig selbst das Risiko von Reiseübelkeit

66 Schneller im Kampf gegen Krebs

Ein neues KI-Trainingsverfahren verkürzt die Diagnosezeit erheblich

68 Fraunhofer international

30 Durchblick schafft Sicherheit

Was steckt wirklich im Qualm der vielen unterschiedlichen E-Zigaretten?

70 Natürlich wärmen

Warum Wärmepumpen ökologisch und ökonomisch die bessere Option sind

74 Foto & Fraunhofer

Die Trägerrakete Ariane 6 startete dank einer Fraunhofer-Erfindung sicher ins All

76 Sonnenstrahlen bunkern für den Winter

Stillgelegte Zechen lassen sich zu Wärmespeichern umfunktionieren

79 Fraunhofer vor Ort

44 Prozent betrug der Anteil der weiblichen Entrepreneurinnen an der Gründungstätigkeit 2023 in Deutschland. Während die berufliche Selbstständigkeit als Vollerwerb laut KfW Gründungsmonitor 2024 um 8 Prozent sank, entstanden mehr Start-ups als Nebenerwerb (+ 11 %).

44%

Kurz gemeldet

Schnell informiert:
Eine KI-basierte
Software bringt
Struktur in den
Buchstabenschungel.



Künstliche Intelligenz im Dienst der Verwaltung

Wie sich komplexe Dokumente mittels Künstlicher Intelligenz (KI) schnell erfassen und Verwaltungsprozesse vereinfachen lassen, untersuchen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben die Service-Plattform Aikido entwickelt: eine KI-basierte Software, die Geschäftsdokumente wie Briefe und Rechnungen binnen weniger Sekunden analysiert, wichtige Informationen extrahiert und anschließend strukturiert.

Auch wesentlich komplexere Dokumente wie etwa Gesetzestexte, medizinische Fachartikel oder Gutachten von Versicherungen sind für Aikido kein Problem: »Unsere Technologie kann in kürzester Zeit mittels Sprachmodellen und regelbasierten Verfahren die wichtigsten Fakten auslesen und für die Userinnen und User aufbereiten«, erklärt Matthias Engelbach, Forscher für Angewandte KI am Fraunhofer IAO.

Von KI-basierter Dokumentenanalyse könnte in Zukunft unter anderem der Einkauf in Unternehmen erheblich profitieren. Aikido klassifiziert Anfragen, überprüft Bestellungen und vergleicht Angebote auf Knopfdruck – das spart nicht nur Zeit, sondern auch Kosten und Mühe. ■

Fließgeschwindigkeit kontaktlos messen

Ein innovatives Messverfahren zur präzisen, berührungslosen Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten in industriellen Herstellungsprozessen hat das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM entwickelt.

Dabei wird das flüssige Medium in einem ersten Schritt mit einem Permanentmagneten polarisiert. In einem zweiten Schritt wird diese Ausrichtung durch Hochfrequenzimpulse gedreht. So entstehen lokale magnetische Markierungen

im Fluid, die in einem dritten Schritt nach einer definierten Fließstrecke mithilfe hochempfindlicher Quantensensoren durch die Rohrwand hindurch erfasst werden, um die Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit bestimmen zu können.

In vielen Produktionsprozessen spielen fließende Fluide eine zentrale Rolle. Will man solche Prozesse regeln oder gar automatisieren, benötigt man verlässliche Angaben zur Strömungsgeschwindigkeit. ■

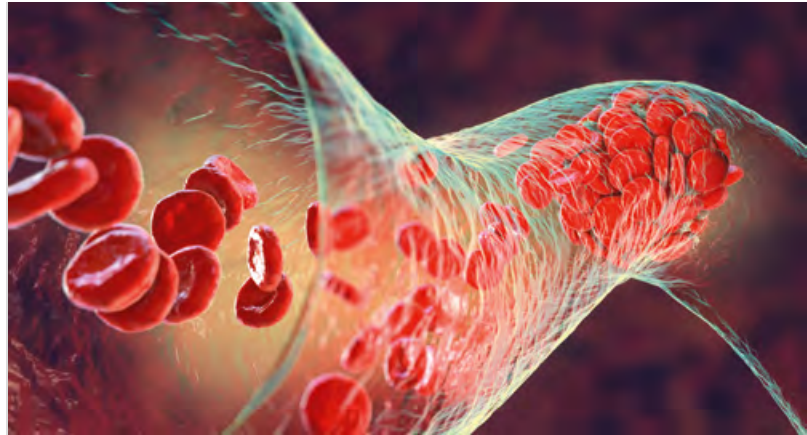


Alles fließt – aber wie schnell? Ein neues Verfahren misst das mithilfe von Magnet und Quantensensoren.

Venenthrombosen entdecken, bevor es zu spät ist

Ein tragbares Diagnostikgerät soll in Zukunft dabei helfen, Venenthrombosen schneller zu erkennen. Die Manschette, in die ein Ultraschallwandler integriert wird, überwacht die Gefäße der unteren Gliedmaßen kontinuierlich. So können gefährliche Blutgerinnsel, die sich von der Venenwand lösen, rasch entdeckt und behandelt werden.

Die Ultraschallwandler-Arrays entwickelt das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS gemeinsam mit der Firma Vermon im EU-Projekt ThromBUS+. Die Forscherinnen und Forscher wollen MEMS-basierte Ultraschallwandler nutzen, sogenannte CMUTs (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers). Sie gelten als die nächste Generation medizinischer Ultraschallsensoren. Die kosteneffiziente Massenproduktion von CMUTs ermöglicht eine breite Verfügbarkeit. Außerdem lassen sie sich leicht mit hoher Kanalzahl miniaturisieren, verfügen über eine hohe Bandbreite und Empfindlichkeit.



Rund zwei Drittel aller Venenthrombosen verlaufen symptomlos – das macht sie besonders gefährlich. Bei etwa der Hälfte der Patienten gelangt das Blutgerinnsel in die Lunge, wo es eine Embolie auslösen kann. Etwa ein Viertel der Menschen, die eine Lungenembolie erleiden, versterben an den Folgen. ■

Einer von 1000 Menschen erkrankt pro Jahr an einer Thrombose. Männer sind etwas häufiger betroffen als Frauen.

Kita-Kinder besser fördern



Sag was! Mittels KI sollen Störungen im Spracherwerb früher detektiert werden.

Wie können intelligente Technologien dabei helfen, Auffälligkeiten im Spracherwerb in den ersten Lebensjahren frühzeitig zu erkennen? Das untersucht das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT gemeinsam mit der Klett Lernen und Information GmbH (KLI) im Projekt »Sprechen für die Zukunft«.

Für die Forschungs- und Entwicklungsarbeit werden Sprachdaten von Kindern aus möglichst alltäglichen Szenarien benötigt. In Fröbel-Kitas erfassten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mithilfe mobiler Technologien die Spontansprache der Kinder in spielerischen Szenarien. Die Studien wurden stets durch das pädagogische Kita-Personal begleitet und strengste Datenschutzrichtlinien eingehalten. Anhand der Aufnahmen können die technologischen Lösungsansätze entwickelt und erprobt werden. Das Fraunhofer IDMT analysiert unter anderem, ob bestimmte Merkmale der Grammatik oder des Wortschatzes zuverlässig in technologische Algorithmen übersetzt werden können. So ließe sich später eine Aussage über den Sprachentwicklungsstand des Kindes treffen. Je früher Auffälligkeiten im Spracherwerb erkannt werden, desto schneller kann eine Förderung starten – eine wichtige Voraussetzung für einen guten Start in die Schule. ■

Tempo machen beim Sanieren

Im Vorbeifahren den energetischen Zustand eines Gebäudes ermitteln soll in Zukunft ein mobiles Mapping-System, das am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM im Projekt LaSanGe entwickelt wird. Kernelement ist ein multispektraler LiDAR-Sensor, der neben der Geometrie auch die thermischen Eigenschaften von Fenstern und Fassaden misst.

Schnelle Einblicke in den energetischen Zustand von Gebäuden ermöglicht bald ein neuer Sensor.



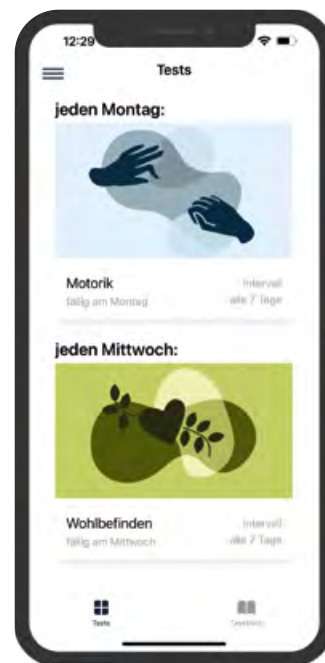
Der Sensor nutzt zwei Laser unterschiedlicher Wellenlänge, um die Isolationseigenschaften von Fenstern zu bestimmen. Die optischen Eigenschaften von Fenstern sind stark wellenlängenabhängig. Das Verhältnis der rückgestreuten Signale erlaubt eine eindeutige Aussage zur Qualität der Fenster: etwa Beschichtungstyp sowie Anzahl der Glasscheiben. Ergänzend sollen konventionelle Wärmebildkameras zum Einsatz kommen. Endergebnis der Messung ist eine geometrische 3D-Punktwolke, angereichert mit Parametern zu den thermischen Eigenschaften von Fenstern und Dämmung. Diese multi-dimensionalen Daten sind räumlich und zeitlich referenziert und können in Geoinformationssysteme einfließen. Auch Änderungen über die Zeit zu dokumentieren, wird so leicht und kostengünstig möglich. ■

Neue App hilft bei Parkinson

Die Versorgungsqualität von Parkinson-Erkrankten verbessern wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT. Im Projekt ParkProReakt entwickeln sie eine Webplattform und eine App, die in Verbindung mit Wearables den individuell sehr unterschiedlichen Krankheitsverlauf trackt.

»Die App namens Active PD wird nach einer Einlernphase von den Patientinnen und Patienten bedient. Die damit gesammelten Daten werden in die Webplattform übertragen, die den Ärztinnen und Ärzten zur Verfügung steht«, erklärt Daniel Wol-

ferts, Wissenschaftler am Fraunhofer FIT. Die Parkinson-Erkrankten sollen zweimal pro Woche mithilfe der App und einer mit Sensorik ausgerüsteten Apple Watch spezifische, standardisierte Tests durchführen, die vor allem die motorischen Fähigkeiten und die Befindlichkeit der Betroffenen überprüfen. Die Tests helfen, krankheitsbedingte Symptome besser einschätzen und mit entsprechenden Maßnahmen schnell darauf reagieren zu können. Das Konzept wird in klinischen Studien mit 170 Erkrankten über die Dauer von sechs Monaten validiert. ■



Der Fortlauf der Parkinson-Erkrankung könnte künftig per App dokumentiert werden.

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 Strobel

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Vivian Ellermeyer, Meike Grewe, Nina
Himmer, Franziska Sell, Stefanie
Smuda, Mehmet Toprak, Yvonne
Weiß, Britta Widmann

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Patrick Runte

Fotografie KI-Robotik:

Sven Döring

Druck:

Kolibri Druck, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2024

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Aber bitte mit Sahne:
Einzelverpackte
Kaffeesahne ist
manchmal die ökolo-
gisch bessere Lösung.

Mehrweg oder Einweg?

Kaffeesahne soll es in Zukunft nicht mehr in kleinen Einzelverpackungen aus Kunststoff geben. Das bestimmt eine neue EU-Verordnung. Doch ist die Milch aus Porzellan- oder Edelstahlkännchen tatsächlich immer die ökologischere Alternative?

Diese Frage untersuchte das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in einer Ökobilanzierung. Dabei berücksichtigten die Forscherinnen und Forscher die Umweltauswirkungen durch Lebensmittelverluste, die aufgrund von Hygienevorschriften in der Gastronomie bei Mehrwegsystemen eine größere Rolle spielen können. Bei leicht verderblichen Produkten wie Kaffeemilch erfordern diese, dass Reste zu entsorgen sind, sobald diese einmal einer Kundin oder einem Kunden angeboten wurden.

Um die Relevanz von Lebensmittelverlusten zu ermitteln, berechneten die Forschenden in ihrer Analyse den Break-Even-Punkt, der zeigt, wie viel Prozent Milch bei den Mehrwegalternativen wegzuschütten sind, bis der CO₂-Fußabdruck dem von

Einzelverpackungen entspricht. Die Spanne liegt zwischen 3 und 27 Prozent – wobei der unterste Wert für eine Einzelverpackungsvariante aus Polypropylen gilt. Das Ergebnis zeigt, dass je nach Verpackungstyp schon bei geringen Lebensmittelverlusten die Einzelverpackungsvariante die Lösung mit dem geringsten CO₂-Fußabdruck sein kann. Dr.-Ing. Daniel Maga, Gruppenleiter Nachhaltigkeitsbewertung am Fraunhofer-UMSICHT: »Auch wenn Umweltwirkungen durch Verpackungen so weit wie möglich reduziert werden sollten, muss immer der Trade-off mit Lebensmittelverlusten berücksichtigt werden. Umweltfreundliche Verpackungsdesigns, durch zum Beispiel optimierte Materialauswahl, können je nach Anwendungsfall eine klimafreundliche Alternative zu Mehrwegsystemen sein.« ■

Gründen mit Fraunhofer



Denken Gründen Handeln

Als Forschungsnation ist Deutschland Spitze und genießt weltweit einen ausgezeichneten Ruf. Die große Herausforderung im Land der Denker ist es jedoch, wissenschaftliche Exzellenz zum wirtschaftlichen Erfolg zu wandeln. Fraunhofer spielt dabei eine wichtige Rolle.

Von Mandy Bartel
Fotografie: Patrick Runte

Taste nach oben gedrückt: Biologin Amelie Reigl will mit ihrem Start-up Tiger-Shark Science nachhaltige Forschung erleichtern.

Wenn Innovation mit Ideen beginnt, dann beginnt Transfer mit Ambition. Die persönliche Motivation von Forschenden, mit ihrer Arbeit positive Veränderungen zu bewirken, ist der wichtigste Hebel, um Wissen in die Anwendung zu bringen. Das zeigt die Studie »Transfer 1000« des Center for Responsible Research and Innovation CeRRI, des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO sowie der Technischen Universität Berlin. Dafür wurden 1000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedenster Disziplinen und Organisationen zu ihrem Transferengagement befragt. Das Ergebnis: Die gesellschaftliche Relevanz und Wirkung der eigenen Arbeit ist für 85 Prozent der Forschenden der wichtigste Treiber und stärkste Indikator für berufliche Zufriedenheit – weit vor Faktoren wie Profilbildung oder Projektakquise.

Vom Lab zum Launch

Es ist entscheidend, diese Motivation zu erkennen und zu fördern. Davon ist Prof. Thomas Bauernhansl überzeugt. Seit 2011 leitet er das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. Sein Institut gehört europaweit zu den führenden Forschungseinrichtungen bei Ausgründungen – auch dank seines persönlichen Engagements. Der Forscher hat die strategische Verankerung von Ausgründungen am Fraunhofer IPA vorangetrieben und selbst während seiner Karriere rund 30 Spin-offs vom Lab zum Launch begleitet. Von der Initiative Unipreneurs wurde er 2023 als eine von 20 herausragenden Persönlichkeiten für sein Engagement bei Ausgründungen und Unternehmertum ausgezeichnet.

»Unser wichtigster Erfolgsfaktor – sowohl in der Forschung als auch im Technologietransfer und bei Gründungen – sind unsere Forschenden, ihre Kompetenz und Motivation«, sagt Bauernhansl. »Wir wollen dieses Potenzial nutzen und Gründungswilligen aktiv viele Wege der persönlichen Entwicklung ebnen.« Der

Maschinenbauer macht das konkret: »Wir müssen die Perspektive der möglichen Anwender und der Kapitalgeber in der Industrie bereits bei der Konzeption unserer Forschung mitdenken. Wir müssen uns auch in der Forschung unternehmerische Fragen stellen: Welche realen Probleme können wir mit unserer Technologie im Wettbewerb für welche Zielgruppen lösen? Sind unsere Forschungsergebnisse industriell skalierbar? Erfüllen wir die harten Anforderungen von Investoren? Wenn man für eine Technologie Antworten auf diese Fragen findet, sind Ausgrün-

Seit 2019 hat sich der europäische Anteil an globalen Investitionen in **Deep Tech** von **10 auf 19 %** fast verdoppelt.

dungen oder Industriepartnerschaften logische nächste Schritte.«

Das Land braucht also nicht nur Ideen, sondern vor allem Entrepreneur, die sie fördern und umsetzen. Doch das wiederum gelingt nur in einem funktionierenden Transfersystem. Heute werden Innovationen vor allem aus kleinen Start-ups heraus getrieben. Im Idealfall liefert der Wissenschaftsbetrieb frische Erkenntnisse und Ideen dazu. Etablierte Unternehmen unterstützen mit Infrastrukturen, Erfahrungen, Aufträgen und Investment. Die Politik schafft motivierende Rahmenbedingungen und sorgt für die nötige Anschubförderung. Durch diese wechselseitige Austauschbeziehung von Forschung, Wirtschaft und

Politik werden Innovationen zu Erfolgsgeschichten. So weit die Theorie.

Vom Gap zur Chance

Ein Blick in die Praxis zeigt: Als Gründungsstandort erhält Deutschland – laut Unternehmensgründungsbericht der Deutschen Industrie- und Handelskammer DIHK von August 2024 – eher schlechte Noten. Hemmnisse für das unternehmerische Engagement sind neben einer mauen Konsumnachfrage hierzulande eine hohe Regeldichte, strukturelle Mängel, ein unsicheres Umfeld, hohe Kosten und Fachkräftemangel. Zudem stellt die mangelnde Zusammenarbeit zwischen etablierten Industrien, kleinen und mittelständischen Unternehmen und innovativen Start-ups ein Hindernis dar.

Vor allem im vielversprechenden Deep-Tech-Sektor hinkt Europa in puncto Unternehmertum, Wachstumsinvestitionen pro Kopf und IPO-Wert (Initial Public Offering) den USA hinterher. Unter Deep Tech versteht man Zukunftstechnologien mit dem Potenzial, ganze Geschäftsmodelle oder Branchen zu verändern. Dazu gehören KI und Quantentechnologien genauso wie Biotechnologie, Robotik oder neue Materialien. Flossen 2022 in den USA 51 Milliarden US-Dollar in diese Bereiche, wurden in Europa nur 19,7 Milliarden US-Dollar investiert.

Hoffnung macht eine aktuelle McKinsey-Studie. »European Deep Tech: Opportunities and Discoveries« zeigt: Der europäische Deep-Tech-Sektor wird relevanter und attraktiver. Seit 2019 hat sich der europäische Anteil an globalen Investitionen in dieses Segment von 10 auf 19 Prozent im Jahr 2023 fast verdoppelt. Knapp die Hälfte (44 Prozent) aller Tech-Investitionen in Europa flossen in Deep Tech – ein Anstieg um 18 Prozentpunkte in vier Jahren. »Deep Tech bietet Europa eine einmalige Chance, die etwas verblasste Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit auf globaler Ebene wieder zu stärken«, fassen die McKinsey-Analysten zusammen und betonen: »Dafür braucht es die gezielte Zu-

sammenarbeit aller Akteure: Universitäten, Forschungseinrichtungen, Politik und Unternehmen. Nicht zuletzt Deutschland muss mit seiner langen Ingenieurstradition und herausragenden Forschungseinrichtungen einen entscheidenden Beitrag leisten.«

Fraunhofer: Ein Modell für Tech-Transfer

Eine Organisation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, mit der Mission zur Anwendungsorientierung, ist bestrebt, ebendiesen Beitrag zu leisten. Wie wichtig Tech-Transfer für Fraunhofer ist, betont Fraunhofer-Präsident Prof. Holger Hanselka: »Der Auftrag von Fraunhofer und unsere Daseinsberechtigung ist der nachhaltige Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Wirtschaft. Die Schwerpunkte liegen dabei auf drei Säulen: Vertragsforschung für die Wirtschaft bildet unser Kerngeschäft und ist unser Alleinstellungsmerkmal unter allen Wissenschaftseinrichtungen in Deutschland. Unser Lizenzierungsgeschäft schließt erstklassige Patentfamilien ein. Und unsere innovativen Ausgründungen basieren vor allem auf Deep Tech und werthaltigem Intellectual Property.«

Die Nähe zur Wirtschaft ist also die große Stärke von Fraunhofer: Die enge Zusammenarbeit mit Unternehmen bei Herausforderungen, die diese allein nicht lösen können, ist der wichtigste Transferpfad. So arbeitet jedes der 76 Fraunhofer-Institute als unternehmerisch agierende Einheit, die ihren Haushalt zu zwei Dritteln selbst bei Wirtschaft und öffentlichen Auftraggebern einwirbt. Die Firmen wiederum profitieren durch gemeinsame Projekte, Kooperationen oder Beauftragungen vom Know-how der Forschenden. Weiterer Wissenstransfer findet durch Lizenzierungen von Technologien und Patenten statt. Fast 3000 aktive Lizenzverträge hält Fraunhofer derzeit. Eines der populärsten Beispiele sind Audio- oder Video-Codecs, die von Fraunhofer-Instituten in Berlin und Erlangen entwickelt wurden und täglich von Millionen Menschen genutzt werden.

Der dritte und mit rund 24 Jahren jüngste Weg, Forschungsergebnisse in die Anwendung zu bringen, sind Spin-offs aus Instituten oder bestehende Start-ups, die mit Fraunhofer-Technologie wettbewerbsstärker werden. »Dabei ist es uns ein großes Anliegen, im Rahmen der rechtlichen Möglichkeiten gründungsfreundliche Konditionen beim Transfer von geistigem Eigentum zu bieten«, betont Hanselka. Rund 500 Technologie-Ausgründungen wurden seit 2000 erfolgreich auf den Weg gebracht. Damit ist Fraunhofer führend unter den außeruniversitären Forschungsorganisa-

Rund **500**
Technologie-
Ausgründun-
gen wurden seit
2000 erfolgreich
auf den Weg
gebracht.

tionen. Welcher Transferpfad für eine Technologie optimal ist, darüber entscheidet letztlich das Potenzial zur industriellen Skalierung.

Ausgründungen: Motor für den Mittelstand von morgen

Technologie allein garantiert noch keinen Erfolg. Viele innovative Technologien scheitern, weil sie nicht marktorientiert entwickelt wurden. Entscheidend ist die erfolgreiche Umsetzung. Um Gründungswillige umfassend von der Idee bis zur Ausgründung zu unterstützen, gibt es bei Fraunhofer aufeinander abgestimmte Transfer-Programme und grün-

dungsfreundliche Lizenzkonditionen. Intensiv unterstützt und gefördert durch die Aktivitäten von Fraunhofer Venture werden sowohl Spin-offs aus den Fraunhofer-Instituten als auch Kooperationen mit externen Start-ups. So bringt das Tech-Tandemprogramm »Colab« Deep-Tech-Entrepreneure und gegründete Start-ups mit Fraunhofer-Forschenden zusammen. Um in der Fraunhofer-Welt die passende Technologie für die Produktvisionen von Gründern zu finden, wird die Fraunhofer-intern entwickelte Plattform »Match« genutzt. Die Start-up-Fraunhofer-Tandems erhalten Zugang zu den nötigen Strukturen, Know-how und einem umfassenden Netzwerk, um die neuen Ideen und Technologien in den Markt zu überführen.

Finanzielle und methodische Unterstützung für eigene Fraunhofer-Spin-off-Projekte bietet das Programm AHEAD: Durch methodisch-inhaltliche Unterstützung wird der Weg zur Gründung beschleunigt und ein finanzieller Freiraum geschaffen. Das dreistufige Transferförderprogramm ist aufgebaut und funktioniert wie ein Business Incubator. Es zielt darauf ab, Geschäftsmodelle zu validieren sowie Teams und Fraunhofer-Technologie in maximal 24 Monaten für die Gründung und Kommerzialisierung vorzubereiten. Mit zielführenden Workshops, Coachings, internem Projektbudget mit bis zu 150 000 Euro und einem großen Partner-Ökosystem aus Investoren und Industrie können Geschäftsideen reifen und werden potenzielle Unternehmerinnen und Unternehmer fit gemacht für die Gründung und den Markteinstieg. Mit Erfolg: Drei Jahre nach Gründung sind noch 96 Prozent der Fraunhofer-Start-ups aktiv am Markt.

Damit die Entwicklung neuer Geschäftsideen und Unternehmensgründungen den bestmöglichen Support erhält, arbeiten Fraunhofer Venture und das Team des AHEAD-Programms mit einer in Deep Tech erfahrenen Community aus Business Angels, Investoren, Business Schools und den Venture-Bereichen anderer außeruniversitärer Forschungseinrichtungen zusammen. ►

Neben der Gründungsförderung und -begleitung ist – wenn vom Gründerteam gewünscht – auch eine Beteiligung von Fraunhofer möglich. Hier hat Fraunhofer ein umfassendes Netzwerk zu Frühphaseninvestoren, die enge Kooperation mit und Beteiligung am High-Tech Gründerfonds (HTGF) als führendem deutschen Seed-Investor, geschaffen – und damit Möglichkeiten für die Fraunhofer-Gesellschaft, sich an ausgewählten Ausgründungen zu beteiligen und als Co-Investor zu agieren (derzeit über 50 Technologie-Beteiligungen

Drei Jahre nach Gründung sind noch **96 %** der **Fraunhofer-Start-ups** aktiv am Markt.

im Portfolio). Ein bewährtes Vehikel ist der 2019 initiierte Fraunhofer Technologie-Transfer Fonds (FTTF), den Fraunhofer gemeinsam mit dem Europäischen Investitionsfonds mit einem Volumen von 60 Millionen Euro ins Leben gerufen hatte, um in Spin-offs auf Basis von Fraunhofer-Technologien zu investieren. Die Investitionsphase des Fonds endete im Jahr 2023, derzeit wird an Weiterentwicklungen gearbeitet. Insgesamt hält Fraunhofer die positiven Folgekonzepte des deutschen Wagniskapitalmarktes für Deep-Tech-Start-ups im Blick und begrüßt die Initiativen der Bundesregierung hierfür (Zukunfts-fonds).

Langfristige Verbundenheit als Erfolgsfaktor

Doch ist es für Fraunhofer-Institute überhaupt erstrebenswert, ihre besten Köpfe an Start-ups abzugeben? Ausgründen mit Fraunhofer ist durch den Zugang zu Infrastrukturen, Expertise und Netzwerken nicht nur für die Gründerteams ein Gewinn, sondern auch für die Institute selbst. Davon ist Prof. Bauernhansl vom Fraunhofer IPA überzeugt: »Ausgegründete Start-ups bleiben in vielfältiger Weise mit dem Institut verbunden, beispielsweise über Forschungsaufträge, Lizenzbeziehungen oder Kooperationen. Mit Ausgründungen bieten wir den Karriereschritt ins Unternehmertum innerhalb unseres eigenen Ökosystems an.« Und einige Gründerinnen und Gründer kehren nach erfolgreichem Exit auch gerne wieder an das Institut zurück oder gründen nach einiger Zeit in der Forschung erneut aus. »Dabei profitieren wir mehrfach: Wir verwerten, veredeln und skalieren Technologie, die für unser Institut kein weiteres Forschungspotenzial bietet, und sorgen so für Rendite und Rückflüsse durch unsere Forschungsergebnisse«, so der Experte. »Gleichzeitig holen wir uns unternehmerisch denkende Persönlichkeiten als Role Models für unsere Forschenden und Intrapreneure wieder ans Institut.«

Wie solche Role Models mit ihrer Arbeit etwas bewegen, was sie motiviert, sich ins Abenteuer Gründung zu stürzen, und was sie gemeinsam mit Fraunhofer für die Zukunft unserer Wirtschaft und Gesellschaft tun wollen, zeigen wir in fünf Beispielen auf den folgenden Seiten.



Für weitere Informationen
Fraunhofer Venture
www.fraunhoferventure.de

AHEAD-Programm
www.ahead.fraunhofer.de



Zähne zeigen? Für Gründerin Amelie Reigl symbolisiert der Hai vor allem Stärke und Effizienz.

Hautsache

Medizinische Innovationen kommen nicht ohne Tierversuche aus. Oder doch? Mit hochentwickelten Hautmodellen aus menschlichen Stammzellen will das geplante Fraunhofer-Biotech-Start-up TigerShark Science Tierversuche drastisch reduzieren.

Von Mandy Bartel

Amelie Reigl mag Tiere. Vor allem zwei. »Der Tiger steht für Kraft und Entschlossenheit«, sagt die 29-Jährige, »der Hai für Anpassungsfähigkeit und Effizienz.« Zusammen mit Dr. Dieter Groneberg und Prof. Florian Groeber-Becker steht die Biologin kurz vor der Ausgründung ihres Start-ups TigerShark Science. Der Name, angelehnt an die Lieblingstiere des Gründerteams, symbolisiert Stärke und Agilität in der Wissenschaft. Kraft und Entschlossenheit, Anpassungsfähigkeit und Effizienz: Eigenschaften, die ein Start-up braucht, um bahnbrechende Lösungen zu entwickeln und sich damit erfolgreich am Markt zu bewähren.

Tatsächlich geht es TigerShark Science um Tiere. Rund 1,73 Millionen Versuchstiere wurden 2022 in Deutschland verwendet. Alternative Testmethoden sollen diese Zahl verringern. Doch oft können sie nicht die Komplexität eines lebenden Organismus abbilden. Amelie Reigl will das ändern. Sie plant, ein realitätsnahes Hautmodell auf den Markt zu bringen, das nahezu alle Strukturen der menschlichen Haut aufweist.

Genauere und besser übertragbare Testergebnisse

»Unsere Vision ist es, die biomedizinische Hautforschung durch hochentwickelte In-vitro-Hautmodelle zu verbessern und eine ethische und nachhaltige Forschung zu fördern«, so die künftige Geschäftsführerin. »Langfristig wollen wir durch unsere Technologie personalisierte Medizin und individuelle Behandlungsmöglichkeiten unterstützen.« Das hochkomplexe Hautmodell aus menschlichen Stammzellen soll Pharma- und Kosmetikunternehmen

helfen, schnellere und präzisere Testergebnisse zu erzielen, die besser auf den Menschen übertragbar sind. So können

»Der Tiger steht für Kraft und Entschlossenheit, der Hai für Anpassungsfähigkeit und Effizienz.«

Amelie Reigl,
TigerShark Science

Wirkstoffe und deren Nebenwirkungen rascher getestet oder das Haarwachstum besser erforscht werden. In nur einem einzigen Modell lassen sich die Reaktionen der Zellen der drei Hautschichten Epidermis, Dermis und Hypodermis untersuchen – eine Möglichkeit, die es auf dem Markt bislang nicht gibt, und klarer Vorteil gegenüber teuren und zeitaufwendigen Tierversuchen. TigerShark Science will die Hautmodelle automatisiert in hoher Stückzahl im Bioreaktor produzieren und anschließend mit einem speziellen Verfahren auf Nanofasern aufbringen. Das ermöglicht die Kultivierung an der Luft-Medium-Grenze, sodass die oberste

Hautschicht – wie die menschliche Haut auch – Kontakt mit der Luft hat. Der Vorteil: eine bessere Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse.

Weiterentwicklung dank Fraunhofer-Unterstützung

Die Inspiration für das Spin-off kam Amelie Reigl während ihrer Forschung am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg und dessen Translationszentrum für Regenerative Therapien (TLZ-RT). »Dort sahen wir die Möglichkeit, eine In-vitro-Technologie für Hautmodelle weiterzuentwickeln und kommerziell zu nutzen«, erzählt Reigl. »Mit der Idee starteten wir beim Fraunhofer-Inkubator-Programm AHEAD, das uns finanzielle Unterstützung und Zugang zu einem breiten Netzwerk von Experten und Mentoren bot. Dies half uns, unsere Geschäftsmodelle zu schärfen, die richtigen Schritte zur Markteinführung zu planen und letztendlich über den EXIST-Forschungstransfer eine Förderung von 1,3 Millionen Euro zu erhalten.« Die Finanzierung und die interdisziplinäre Unterstützung aus dem Fraunhofer-Netzwerk nutzen die Forschenden auch, um ihr Hautmodell weiterzuentwickeln. Es soll künftig um Modelle mit Immunzellen und Blutgefäßen, aber auch Tumorzellen ergänzt werden, um Krankheiten wie Hautkrebs oder Hautfibrose zu simulieren und zu erforschen. Der gesellschaftliche Impact ihrer Arbeit ist Reigl wichtig: »Was mich besonders begeistert, ist die Möglichkeit, ethische Lösungen zu entwickeln, die zu einer effektiveren Hautforschung führen und somit auch die Lebensqualität von Patienten schneller verbessern können – und das ganz ohne Tierleid.« ■

Der Fraunhofer-Weg zum Spin-off

Validierte, technologiebasierte Geschäftsmodelle zur Lösung zukünftiger Herausforderungen

Bestandsquote Start-ups:

96%
nach 3 Jahren

Jahrzehntelange Erfahrung mit dem erfolgreichen Transfer von Forschungsergebnissen

Erfindungsmeldungen im Jahr 2023:

506

Typische Laufzeit von Ausgründungsprojekten: 15 bis 20 Monate

Gründerteams, die unternehmerisch denken und handeln

Begleitung durch Fraunhofer als exzellenter Kooperations- und Forschungspartner

Idee

Fraunhofer Deep Tech Incubator AHEAD

- Beschleunigt die Entwicklung von Geschäftsmodell, Produkt und Team
- Entrepreneurship Coachings und Workshops
- Match-Making von Start-ups mit Fraunhofer-Instituten durch das Programm Colab
- Pilotierung von proaktivem Company & Venture Building
- Türöffner in das Innovations- & Entrepreneurship-Ökosystem

Beteiligungsmanagement

- Betreuung der Unternehmen und der technologiegebenden Institute
- Zentrales Portfolio-Management
- Zugang zu Fraunhofer-Netzwerken, insb. auch Finanzierungspartner
 - Potenzielles Co-Investment bis 2,5 Mio. € je Spin-off
 - Durchschnittliche Beteiligungshöhe 15 %

Auf Wunsch: Fraunhofer als starker und verlässlicher Gesellschafter

Dank der Wirtschaftsnähe von Fraunhofer: beste Kontakte zu Industrie und Mittelstand

Umfassendes Netzwerk in die Frühphasen-Finanzierungsszene

High-Tech Gründerfonds HTGF
Fraunhofer Technologie-Transfer-Fonds FTTF

Bestand aktiver Patentfamilien:

7068

1000

Aus Gründungsprojekte oder -ideen seit 2001

Daraus entstanden sind: 520 Spin-offs

Exit

Gründung

Typische Haltedauer von Beteiligungen: 8 bis 10 Jahre

Unterstützung bei Fraunhofer

- Entwicklung von Geschäftsidee und Geschäftsmodell
- Aufbau des Gründerteams / Compliance
- Zeitplanung
- IP-Schutz des geistigen Eigentums und Lizenzen
- Nutzung von Fraunhofer-Logos und -Infrastruktur
- Fördermöglichkeiten
- Finanzierung
 - AHEAD-Förderung über 150 000 €
 - »FFM – Fraunhofer Fördert Management« bis zu 150 000 €

Leck-Tech

Den Einsatz von Wasserstoff sicherer und effizienter machen: Das ist die Vision von Dr. Hunter King. Mit seinem Spin-off Integrative Nanotech vereinfacht der Kanadier durch eine innovative Nanotechnologie die Detektion von Lecks in Wasserstoffleitungen und -systemen.

Von **Stefanie Smuda**

Die Geschichte von Integrative Nanotech beginnt mit einem Zufall: Dr. Hunter King forscht am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig zu Materialien für mikro-elektromechanische Sensorsysteme, kurz MEMS. »Wir haben viele verschiedene Methoden ausprobiert, mit Parametern gespielt und uns abseits bekannter Herstellungsverfahren bewegt«, erzählt er. Dabei entdeckt er zusammen mit seinem Team eine neuartige Methode, um nanostrukturierte Silizium-Materialien im großen Maßstab herzustellen. Doch King steckt mitten in seiner Promotion am Fraunhofer IST und ist mit mehreren Projekten parallel beschäftigt. So offenbart sich ihm das ganze Potenzial seiner Entdeckung erst ein Jahr später.

Nach Abschluss seiner Dissertation sieht King die Daten und Erkenntnisse aus dem Projekt und begreift, dass er ein innovatives Nanomaterial entwickelt hat, das über besondere Eigenschaften verfügt. »Das neue Material kann aufgrund seiner extrem großen Sensorfläche eine höhere Leistung bei Gas- und Flüssigkeitssensoren anwendungen erzielen«, erklärt er. Als Einsatzbereich mit dem größten Marktpotenzial identifizierte King das Aufspüren von Lecks in Wasserstoffanlagen. Auf diesen Bereich konzentriert sich das von ihm gegründete Unternehmen Integrative Nanotech. Langfristiges Ziel ist es, den wasserstoffbetriebenen Transportsektor in eine sicherere und effizientere Zukunft zu führen.

Die Sensorindustrie revolutionieren

Wasserstoff gilt zwar als sauberer, nachhaltiger und vielseitiger Energieträger. Doch aufgrund seiner leichten Explosivität lässt er sich nur schwierig handhaben und transportieren. Deshalb wollen Inte-

grative Nanotech und das Fraunhofer IST Lösungen zur Leckdetektion entwickeln, die darauf abzielen, die Standards zu verbessern und die Gerätezuverlässigkeit zu erhöhen. Auch Betriebsabläufe sollen dadurch sicherer werden. »Wir wollen Nanomaterialien aus dem Labor auf den Weltmarkt bringen und damit die Sensorindustrie revolutionieren«, erklärt er.

»Bei Fraunhofer habe ich einige der intelligentesten, leidenschaftlichsten und fürsorglichsten Menschen getroffen, mit denen ich in meinem Leben zusammenarbeiten durfte.«

Dr. Hunter King,
Integrative Nanotech

Aufbauend auf der Nanotechnologie soll die nächste Generation der Gassensoren für die Großindustrie entwickelt werden. Die Vorteile: hohe Leistungsfähigkeit, größere Produktionsmengen und niedrigere Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsmethoden für Nanomaterialien.

Darüber hinaus ermöglicht es die firmeneigene Technologie, Nanomaterialien zur Detektion vieler unterschiedlicher Gase schneller zu funktionalisieren. Die Sensoren lassen sich sowohl bei der Lecksuche von Wasserstoff und stickstoffhaltigen Gasen als auch bei Anwendungen wie der Umweltüberwachung (CH₄ usw.) einsetzen. Daraus ergeben sich vielfältige Anwendungsbereiche, etwa in Brennstoff-

zellenfahrzeugen oder an Wasserstoff-Tankstellen.

Dank Fraunhofer-Expertise die Produktentwicklung vorantreiben

Bei der Gründung bekam King Unterstützung von Dr. Volker Sittinger, Daniel Stoll und Tino Harig vom Fraunhofer IST. Sie halfen etwa in der Frühphase der technologischen Entwicklung. King betont: »Ich mag die Idee und die Leidenschaft für das Thema gehabt haben, aber ohne Fraunhofer gäbe es diese Entdeckung nicht – schon die Gelegenheit dazu hätte gar nicht bestanden.«

Im Mai dieses Jahres haben das Fraunhofer IST und Integrative Nanotech eine exklusive Lizenzvereinbarung geschlossen. Das Spin-off mit Sitz in Kanada erhält dadurch Zugang zu den Infrastrukturen des Fraunhofer-Instituts und profitiert von dessen Expertise bei Dünnschichtprozessen und Produktionssystemen sowie bei der Aufskalierung von Prozessen. King: »Bei unserem Wachstum und der Erschließung neuer Märkte sehen wir das Fraunhofer IST in einer Schlüsselposition. Denn dank seiner umfassenden Expertise und seiner Technologien können wir die Produktentwicklung beschleunigen.«

Fraunhofer hat für King hohe Maßstäbe gesetzt: »Wann immer ich mit meinen Freunden oder meiner Familie in Kanada gesprochen habe, habe ich von den unglaublichen Menschen geschwärmt, mit denen ich täglich zusammenarbeiten durfte«, so der Unternehmer. »Bei Fraunhofer habe ich einige der intelligentesten, leidenschaftlichsten und fürsorglichsten Menschen getroffen, mit denen ich in meinem Leben zusammenarbeiten durfte, und ich habe meine Zeit dort geliebt. Ich bin unglaublich dankbar, dass ich die Beziehung zu ihnen fortsetzen kann.« ■



Zukunft beschleunigen:
Dr. Hunter King will mit
dem Spin-off Integrative
Nanotech die Wasserstoff-
Wirtschaft unterstützen.

Datenlust

Dr.-Ing. Alanus von Radecki unterstützt Städte und Gemeinden dabei, Daten sinnvoll zu nutzen – und schubst so die Digitalisierung im ganzen Land an.

Von **Nina Himmer**

Zwei Seelen, die in einer Brust wohnen? Gibt es nicht nur in Büchern von Goethe, sondern auch bei Start-ups in Berlin: Dr. Alanus von Radecki ist Soziologe und Ingenieur. Einerseits treibt ihn um, wie Menschen ticken und wie man ihr Verhalten beeinflussen kann. Andererseits will er Technologien bis ins Detail durchdringen. Entsprechend agiert sein Unternehmen an der Schnittstelle zwischen beiden Welten: Wie kann man technologische Lösungen so gestalten, dass sie von der Gesellschaft wirklich genutzt werden?

Um diese Frage herum ist am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart das Daten-Kompetenzzentrum für Städte und Regionen (DKSR) entstanden, das 2021 gegründet wurde. Seitdem unterstützt es Städte und Regionen beim Aufbau einer digitalen Infrastruktur. »Wir wollen eine Art Katalysator für die Digitalisierung sein und dabei den Mehrwert für die Menschen im Blick haben«, sagt Ingenieur-Soziologe von Radecki. Wie kann man die Verwaltung effizienter gestalten? Städte lebenswerter machen? Steuergelder sparen?

Deutschland zu digitalisieren, das klingt nach einer undankbaren Aufgabe: In Studien ist die Bundesrepublik auf diesem Gebiet regelmäßig Schlusslicht in Europa. Auch der aktuelle Digitalreport 2024 zeigt: Das Land hinkt hinterher, die meisten Befragten aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Bevölkerung glauben nicht an größere Fortschritte in naher Zukunft. »Es ist schon eine große Herausforderung«, gibt von Radecki zu. Alle Bundesländer, Städte und Kommunen machen ihr eigenes Ding, was zu einem Flickenteppich an digitalen Lösungen führe. Manche leben noch im Zeitalter von Fax und Papierakten, andere verheddern sich in Fragen des

Datenschutzes oder sind regelrecht gelähmt von der Angst, Fehler zu machen. Den 44-jährigen Unternehmer treibt all das eher an: »Ich liebe die Herausforderung und möchte mit meiner Arbeit nicht nur Papier produzieren, sondern Teil einer Systemtransformation in der echten Welt sein.«

»Wir wollen eine Art
**Katalysator für
die Digitalisierung**
sein und dabei den
Mehrwert für
die Menschen im
Blick haben.«

Dr.-Ing. Alanus von Radecki,
Daten-Kompetenzzentrum
Städte und Regionen DKSR

Den Fokus auf Potenziale setzen statt auf Probleme

Das ist ein typischer Satz für ihn. Von Radecki ist einer, der immer schon gerne an übermorgen gedacht hat, einer mit Freude an Visionen. Jahrelang hat er das Fraunhofer-Innovationsnetzwerk Morgenstadt geleitet, das sich urbanen Zukunftsfragen verschrieben hat. Dieser Wille zur Gestaltung der Zukunft, der Fokus auf Potenziale statt Probleme ist auch beim DKSR deutlich zu spüren. Nach nunmehr drei Jahren auf dem Markt hat es viel vorzuweisen. Mehr als 80 Städte im In- und Ausland gehören zu seinen Kunden: In Köln wurde das Shared-Mobility-Konzept optimiert, indem alle E-Scooter und Leihräder erfasst wurden. Im bayerischen

Deggendorf ist ein Projekt angelaufen, das den Hochwasserschutz verbessern soll, indem Daten von Regensensoren und aus Rückhaltebecken mit Wetterprognosen und Informationen zur Bodenfeuchte verknüpft werden. In Augsburg haben Daten geholfen, den Verkehr in der Innenstadt zu beruhigen. Und im dänischen Aarhus wird gerade ein ganzes Stadtquartier so umgestaltet, dass es mehr Energie erzeugt, als es verbraucht. Das DKSR baut dafür die komplette Dateninfrastruktur, etwa für die Stromversorgung.

Pionierarbeit mit Pragmatismus

Es gibt unzählige Ideen und Beispiele – und die meisten sind eng mit Fragen der Nachhaltigkeit und Lebensqualität verknüpft. »Ich sehe Daten vor allem als ein Hilfsmittel für ein komfortables, sicheres und nachhaltiges Leben jenseits der Digitalisierung«, sagt von Radecki. »In Daten zu denken und mit Daten zu arbeiten ist für Verwaltungsbehörden ungewohnt.« Viele brauchen zunächst eine Inventur: Welche Daten haben wir? Wie lassen sie sich strukturieren, nutzen, teilen? Welche Probleme lassen sich damit angehen? Von Radecki weiß: Manchmal brauchen Visionen vor allem Pragmatismus und Geduld. »Wir sprechen hier von großen Systemtransformationen, so was geht nicht von heute auf morgen.«

Genau diese Pionierarbeit ist es, die von Radecki reizt: »Das Thema ist wichtig und wir haben die Chance, einen echten Unterschied zu machen.« Diese Haltung verdanke er auch seiner Zeit beim Fraunhofer-Institut. Dort sei man umgeben von Menschen mit innovativen Ideen und Lust auf eine andere, bessere Zukunft. »Das hat mich sehr inspiriert und bestärkt, diesen Schritt zu gehen.« ■



Antworten auf urbane Zukunftsfragen: Dr.-Ing. Alanus von Radecki setzt dabei auf kluges Datenmanagement.

Durchatmen

Dr. Felix Wiegandt will mit einer innovativen Inhalationstherapie die Überlebenschancen von Frühchen erhöhen.

Von Nina Himmer

Lena ist winzig. Ihre Hände passen auf den Daumnagel eines Erwachsenen, das kahle Köpfchen ist kaum größer als eine Orange, die Ärmchen hängen schlaff an ihrem Körper. Die Kleine trägt Windeln, hat einen Schnuller im Mund und macht keinen Mucks. Dennoch nimmt Biomedizintechniker Dr. Felix Wiegandt Lena meist in seiner Tasche mit auf Messen, zu Vorträgen und Treffen mit Investoren. Weil das täuschend echte Baby aus Kunststoff die Fragilität von Frühchen so gut verdeutlicht. Und weil sich Wiegandts Innovation mithilfe von Lena am besten veranschaulichen lässt.

Der 35-jährige Forscher aus Hannover hat im Rahmen seiner Promotion eine Technologie entwickelt, die Frühchen den Start ins Leben erleichtern soll. »Weltweit kommen jedes Jahr knapp 15 Millionen Kinder zu früh zur Welt, in Deutschland sind es etwa 60.000«, sagt er. Global sterben 43 Prozent der Kinder, die vor der 23. Schwangerschaftswoche geboren werden. Eine Hauptursache dafür ist ihr unreifes Atemsystem. »Der Gasaustausch in der Lunge ist bei vielen Frühchen nicht gewährleistet, ihre Lungenbläschen kollabieren beim Ausatmen regelrecht«, erklärt Wiegandt. In der Folge kommt es zu Atemnot, Entzündungen und Narben im Gewebe, die bis ins Erwachsenenalter Probleme verursachen können. »Legen Sie sich mal fest eine Hand auf Mund und Nase und holen Sie durch den Widerstand Luft«, sagt Wiegandt. »So ähnlich fühlt sich das Atmen für viele Frühchen an.«

Bronchopulmonale Dysplasie (BPD) nennen Mediziner dieses Phänomen – und je nach Ausprägung und Alter des Kindes kann es akut lebensbedrohlich sein oder lebenslange Folgen haben. Intravenös verabreichtes Kortison hilft hier, kann in den kleinen Körpern aber innere Blutungen, Bluthochdruck oder Wachstumsstörungen

auslösen. »Die möglichen Nebenwirkungen sind derart extrem, dass man eine solche systemische Kortisontherapie nicht präventiv durchführt«, erklärt Wiegandt. »Wir haben aber eine Methode entwickelt, Kortison sehr viel schonender und gezielter zu verabreichen.«

»Ich habe jetzt die Chance, die Welt ein bisschen besser zu machen. Und ich bin fest entschlossen, sie zu nutzen.«

Dr. Felix Wiegandt,
Inhale+ GmbH

Mehr Wirkstoff für zarte Babylungen

Denn Kortison lässt sich nicht nur intravenös geben, sondern auch durch Inhalation direkt in die Lunge. Die Nebenwirkungen sind in diesem Fall sehr viel geringer, weil das Kortison nur lokal wirkt. Bei den aktuellen Standard-Verfahren bekommen die Frühchen zur Atemunterstützung Atemgas mit leichtem Überdruck zugeführt. Sechs Liter davon zirkulieren durch den winzigen Kreislauf. Mischt man Kortison hinein, verdünnt sich das Medikament allerdings stark, »bis zu 96 Prozent davon gehen verloren, es kommt also viel zu wenig in der Lunge an.« Die mittlerweile patentierte Technologie Inhale+ funktioniert anders: »Wir zweigen einen kleinen Teil des Atemgases aus dem Kreislauf ab, reichern ihn mit dem Medikament an und schleusen ihn direkt zur Nase des Babys«,

erklärt er. Damit erreichen satte 320 Prozent mehr Wirkstoff die Lunge.

Für die Neonatologie könnte das ein Durchbruch sein. »Unsere Technologie ermöglicht eine sehr frühe, schonende und präventive Behandlung von Atemwegserkrankungen und kann so dabei helfen, Lungen- sowie Langzeitschäden zu verhindern und die Sterblichkeitsrate von Frühgeborenen zu senken.« Aktuell tüfteln Wiegandt und sein dreiköpfiges Team an weiteren Verbesserungen des Verfahrens, etwa durch eine atemsynchrone Wirkstofffreisetzung. Alle Teile sollen noch kleiner und kompakter werden. Und: Die Anwendung soll so einfach wie möglich werden, damit sich die Technologie in der Praxis durchsetzen kann. Langfristig gibt es die Strategie, die Methode auch für Erwachsene zu nutzen – etwa für Menschen mit COPD oder Asthma.

Ursprünglich wollte Wiegandt Patentanwalt werden. Seine Promotion am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM und die Entwicklung der Technologie Inhale+ brachten ihn auf einen anderen Weg: 2025 soll die Ausgründung mit der Inhale+ GmbH erfolgen, danach ist eine Proof-of-Concept-Studie geplant, bevor ab 2026 klinische Studien folgen, die für die Zulassung eines Medizintechnikprodukts Voraussetzung sind. Für 2029 ist der Markteintritt geplant.

»Dieses Start-up-Leben momentan fühlt sich ziemlich verrückt an«, bekennt Wiegandt. Aber er fühlt sich gut vorbereitet, auch dank des AHEAD-Programms von Fraunhofer. Wie entwirft man einen Business-Case? Was macht eine gute Marktanalyse aus? Welche Summen braucht es bis zum Markteintritt? »All das war für mich Neuland«, sagt Wiegandt. »Aber jetzt will ich eigentlich nichts anders mehr machen. Ich habe die Chance, die Welt ein bisschen besser zu machen. Und ich bin fest entschlossen, sie zu nutzen.« ■



Sauerstoff ist Leben: Dr. Felix Wiegandt möchte Frühchen den Start ins Leben erleichtern.

Kernfrage

Mehr Pflanzen, weniger Fleisch, Milch und Eier: Die Welt wird um einen Ernährungswandel kaum herumkommen. Wie das Start-up Sunbloom Proteins dafür sorgen will, dass er besser schmeckt.

Von **Nina Himmer**

Sonnenblumen sind ihre Lieblingsblumen, ausgerechnet. »Das war schon so, bevor ich bei Sunbloom Proteins angefangen habe«, versichert Amandine Perez. »Und ich kann sie auch noch ansehen, ohne dabei an Nährwerte zu denken.« Sonnenblumen machen froh, ob auf dem Feld oder in der Vase. »Oder eben auf dem Teller«, sagt Perez und lacht. Vor etwas mehr als einem Jahr hat ihr Arbeitgeber Avril das Start-up Sunbloom Proteins übernommen. Seit Juli treibt Perez die Vision des Unternehmens als Geschäftsführerin voran: »Pflanzenprotein so vielseitig, beiläufig und schmackhaft wie möglich in unsere Ernährung zu integrieren.«

Entwickelt am Fraunhofer IVV

Sunbloom Proteins nutzt dafür Sonnenblumen, deren Öl und Samen man in Europa schon lange schätzt. Durch eine am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising bei München entwickelte Technik lässt sich allerdings auch Proteinkonzentrat aus der Pflanze gewinnen. Dafür werden Sonnenblumenkerne geschält, gepresst, entölt, getrocknet und anschließend fein vermahlen. »Das so entstandene Pulver ähnelt von der Konsistenz her Mehl und hat einen Proteingehalt von 60 Prozent«, sagt Perez. Im Vergleich zu anderen pflanzlichen Proteinen etwa aus Soja, Weizen oder Erbsen hat es einige Vorteile: »Sonnenblumenprotein ist völlig geschmacksneutral, hat eine helle Farbe, eine angenehme Konsistenz und lässt sich vielfältig verarbeiten.« Kurzum: Das Extrakt liefert eine nachhaltige und gesunde Eiweißquelle, die sich problemlos in viele Lebensmittel schleusen lässt.

Die Textur des Pulvers ist äußerst wandelbar. »Wir liefern eine natürliche Zutat, mit der sich Fleisch, Milch und Eier in vielen Produkten mühelos ersetzen lassen«, nennt Amandine Perez als Hauptvorteil. Aufschlagen wie Sahne oder Eischnee? Kein Problem. Auflösen in Wasser? Geht rückstandslos.

»Viele Menschen sind neugierig und probieren **pflanzliche Alternativen**. Aber durchgesetzt haben sie sich bisher noch nicht. Teil dieser Transformation zu sein wäre wunderbar.«

Amandine Perez, Sunbloom Proteins GmbH

Auflösen in Emulsionen? Die perfekte Verbindung. Aufschäumen wie Milchschaum? Her mit dem Kaffee! Auch als Fleischersatz lässt sich Protein aus Sonnenblumensaat verwenden, sei es mit hohem Wasseranteil wie in Burgerpatties, emulgierten Würstchen, in pflanzlicher Streichwurst oder als trockene Chunks. »Sonnenblumenprotein lässt sich nicht herauschmecken wie etwa Erbsenprotein, es färbt Lebensmittel auch nicht unschön und hat hervorragende Texturierungseigenschaften«, erklärt Perez. All das sei entscheidend, um es für die breite Nutzung in der Lebensmittelindustrie attraktiv zu machen. »Wir müssen den Her-

stellern maximale Freiheit bei der Gestaltung ihrer Produkte ermöglichen.«

Bisher geht die Rechnung auf: Seit die Sunbloom Proteins GmbH 2017 als Spin-off des Fraunhofer IVV in Freising gegründet wurde, hat sie sich stetig vergrößert. Durch die Übernahme der global agierenden Avril Group im April 2023 soll die Marktpräsenz pflanzlicher Proteine vorangetrieben werden. Die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IVV ist weiterhin eng. »Avril sucht innovative und nachhaltige Lösungen, um Menschen zu ernähren. Der Austausch mit der Forschung ist deshalb für uns enorm wichtig.«

Nicht nur in Deutschland, auch in französischen, italienischen und brasilianischen Supermärkten finden sich mittlerweile Produkte, in denen das Sonnenblumenprotein verarbeitet wurde. »Gerade tüfteln wir an einer pflanzlichen Mousse au Chocolat«, verrät Perez, die bei dem Gespräch in ihrem Pariser Büro sitzt. Als Französin verfolgt sie die Entwicklung des cremigen Desserts besonders streng. Sie lacht, aber es ist ihr ernst: »Genuss ist mir sehr wichtig. Ich bin überzeugt, dass Wandel nur möglich ist, wenn wir richtig leckere, delikate Alternativen ohne geschmackliche Kompromisse anbieten können.« Den Menschen den Wandel also buchstäblich schmackhaft machen.

Perez nimmt sich da nicht aus. Ihr geht es wie den meisten Menschen: Sie ist weder Veganerin noch Vegetarierin, sorgt sich aber um den Planeten und will sich und ihre Familie gerne pflanzenbetonter ernähren. Im Alltag mit ihrem vierjährigen Sohn fällt das oft schwer. »Viele Menschen sind neugierig und probieren pflanzliche Alternativen. Aber durchgesetzt haben sie sich bisher noch nicht. Teil dieser Transformation zu sein, wäre wunderbar.« ■



Ganz schön nützlich: Amandine Perez setzt auf Proteine aus Sonnenblumenkernen.

Mögliches Ziel von
Hightech-Kriminellen:
die nationale
Stromversorgung.

Schutz vor Cyberangriffen

Ohne sichere Gasleitsysteme, Stromtrassen und Kommunikationsnetzwerke würde nichts funktionieren. Angesichts der zunehmenden Attacks zielt ein neues Forschungsprojekt darauf ab, diese kritischen Netzwerke mithilfe von Quantentechnologie besser vor Hackerangriffen zu schützen.

Von Mandy Bartel

Es ist ein Wettlauf mit vielen Verlierern. Wie schnell die Innovationsfähigkeit der Cyberkriminellen wächst, verdeutlichen aktuelle Zahlen: Pro Tag 37 000 Cyberangriffe weltweit zählt der Global Threat Intelligence Report des Sicherheitsanbieters BlackBerry – allein mit seinen Systemen. Mit 60 Prozent zielt mehr als die Hälfte davon auf kritische Infrastrukturen. In Deutschland registrierte 2023 das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) über 400 Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen – ein Anstieg um 20 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Besonders betroffen: Energieversorger und Kommunikationsnetzwerke.

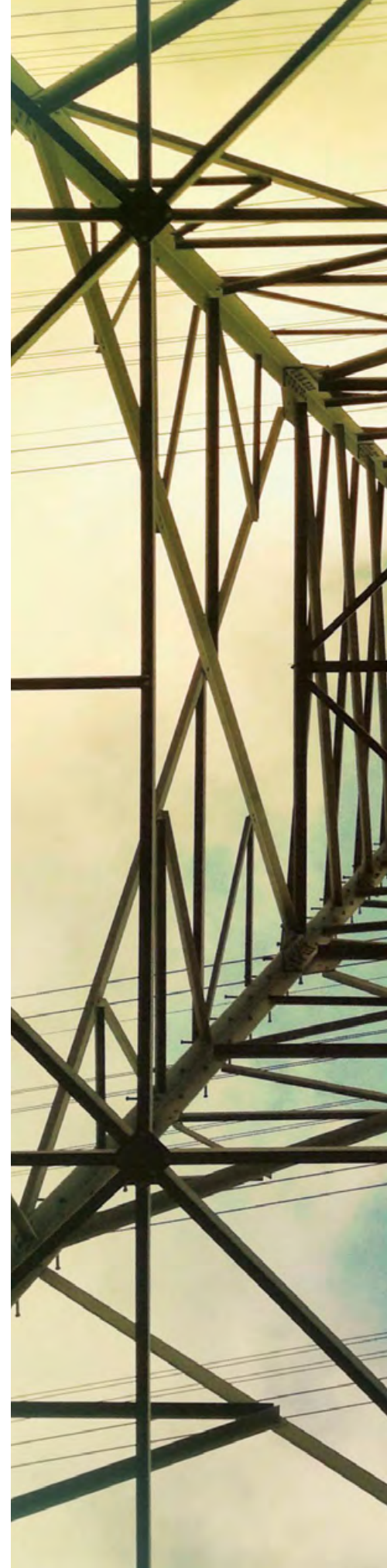
An zukunftsweisenden Lösungen arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena zusammen mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. »Das Projekt will die Sicherheit von kritischen Infrastrukturen mittels Quantenschlüsselverteilung, kurz QKD, revolutionieren«, sagt Dr. Christopher Spiess, der das Vorhaben MANTIS am Fraunhofer IOF koordiniert. Der Name des Projekts steht für »Messgerätunabhängige QKD und sichere System-synchronisation für Anwendungen in Gasleitsystemen und kritischer Infrastruktur«.

Es ist zunächst auf drei Jahre angelegt und mit fünf Millionen Euro ausgestattet.

Quantentechnologie als Schlüssel zur Sicherheit

Die Quantenschlüsselverteilung nutzt Prinzipien der Quantenphysik, um hochsichere Kommunikationswege zu schaffen. Dabei erhalten zwei Parteien eine gemeinsame Zufallszahl, die ihnen als geheimer Quantenschlüssel für die sichere Übertragung dient. In MANTIS gehen die Quantenexperten noch deutlich weiter und entwickeln messgeräteunabhängige und chipbasierte QKD-Systeme, sogenannte MDI-QKD. »Bei standardmäßiger QKD befinden sich die Messgeräte des Empfängers in einer sicheren Umgebung«, erklärt Spiess. »Wenn allerdings ein Angreifer physischen Zugang zu den Messgeräten bekäme, dann ist das System nicht mehr sicher.«

MDI-QKD hingegen gewährleistet die Vertraulichkeit des Schlüsselaustauschs selbst dann, wenn ein Angreifer physischen Zugang zu den Messgeräten hat, die zur Entschlüsselung der Quantenschlüssel beim Empfänger genutzt werden. Somit ist diese spezielle Form der QKD besonders geeignet, Gasleitsysteme und andere kri-



tische Infrastrukturen besser vor solchen sogenannten Seitenkanalangriffen zu schützen. »Alle Messgeräte können hier praktisch direkt in den Händen eines Hackers liegen. Allerdings nützt der Zugang zu den Messgeräten dem Angreifer nichts, denn das MDI-QKD-Protokoll stellt sicher, dass die Messinformationen für den Abhörer unbrauchbar sind«, erklärt der Wissenschaftler.

Schutz über Langstrecke

Darüber hinaus ist die Arbeit im Projekt MANTIS auch ein Meilenstein bei der Überbrückung weiterer Entfernungen durch die Quantenkommunikation. Im Gegensatz zu klassischen Methoden, bei denen Sender und Empfänger direkt miteinander kommunizieren, wird als dritter Punkt eine Zwischenstation eingeführt. Wenn die Wegstrecken nun hochgenau stabilisiert werden, ermöglicht der Aufbau besonders weite Übertragungstrecken von bis zu 1000 Kilometer in optischen Glasfasernetzen. Bisher sind aufgrund der verlustreichen QKD-Protokolle nur wenige hundert Kilometer überbrückbar.

»Mit MANTIS setzen wir neue Maßstäbe in der Quantenkommunikation.«



Dr. Christopher Spiess,
Fraunhofer IOF

Christopher Spiess ist überzeugt: »Mit MANTIS setzen wir neue Maßstäbe in der Quantenkommunikation. Die MDI-QKD geht über die traditionellen Ansätze hinaus und bietet daher auch unter extremen Bedingungen maximale Sicherheit.« ■

Stimme aus der Wirtschaft



Dr. Nicola Leibinger-Kammüller, 64,
Vorstandsvorsitzende
Trumpf SE + Co. KG

Die Gedanken sind frei – und müssen es bleiben

Exzellente Forschung und Innovationen sind die Basis unseres industriellen Wohlstands. Die Gedankenfreiheit der Wissenschaft ist zudem ein Lackmustest dafür, wie es um unsere Gesellschaft steht.

Ein Plädoyer von Dr. phil. Nicola Leibinger-Kammüller,
Vorstandsvorsitzende und Gesellschafterin Trumpf SE + Co. KG

Leben wir in einer Zeit der Gegen-
aufklärung, wie mancher meint?
Wer die Störungen der Lehre an
Hochschulen oder die persönliche
Kritik an Wissenschaftlerinnen und Wissen-
schaftlern im Netz verfolgt, kann zu diesem
Schluss kommen. Egal, ob es dabei um Fragen
der biologischen Bestimmtheit der Geschlech-
ter geht, um die genetische Veränderung von
Nutzpflanzen, den Klimawandel, die Corona-
Pandemie oder jüngst auch um die Anfein-
dungen Israels und der Juden nach dem Über-
fall der Hamas am 7. Oktober: Gerade dort, wo
die freie Rede eigentlich die Grundlage des
Wettstreits um das bessere Argument sein
muss, sind zunehmend schrille Töne zu hören.
Ein Rückfall in ideologische Denkmuster und
determinierende Merkmale, finde ich. Nicht
der Aufbruch in eine bessere, freiere Zukunft,
in der wir anderen vorurteilsfrei begegnen.

Kein Kind unserer Zeit, und doch bedrohlich

Das Phänomen diskursiver Störungen ist
nicht neu. Ich erinnere mich gut an die Siebzi-
gerjahre, in denen ich Geisteswissenschaften
studierte. Die Industrie galt unisono als ver-
dächtig, nicht nur die Ausbeutung der Ärm-
sten zu forcieren (anstatt Wohlstand für viele),
sondern für die gesellschaftlich erstmals breit
thematisierten Umweltschäden verantwort-
lich zu sein. Seveso war überall.

Umso frappierender erscheint es mir, dass
wir heute – drei Jahrzehnte nach dem so be-
zeichneten Ende der Geschichte und im Besitz
vielfältiger Informationsmöglichkeiten – Ge-
fahr laufen, in ein neues Zeitalter des irration-
alen, von Misstrauen gegenüber arrivierten
wissenschaftlichen Quellen geprägten Zustands
zurückzufallen. Die mediale Penetration noch
so abwegiger Standpunkte führt dazu, dass
sich die freie Rede Angriffen ausgesetzt sieht,
denen man nicht mit den Mitteln des kon-
struktiven Disputs beikommen kann. Fühlen
ersetzt vielfach das Faktische. Und der arbeits-
teilige, oft mühsame Prozess der Wissensbil-
dung, wie er den Natur- und Geisteswissen-
schaften gleichermaßen inhärent ist, wird von
Populismus über Nacht infrage gestellt.

Was also ist zu tun? Gewiss mehr, als es ein
Gastbeitrag vom Spielfeldrand des Mittelstands
aus auch nur ansatzweise zu formulieren ver-
mag! Dass wir auf die Einhaltung der Standards
der freien Rede gerade im akademischen Be-

»Wir werden der
Technik nicht
entgehen, indem
wir die Physik
verlernen.«

Max Bense,
Philosoph, †1990

Dr. phil. Nicola Leibinger- Kammüller

- ▶ übernahm 2005 den Vorsitz
der Geschäftsführung der
Trumpf GmbH + Co. KG und
ist seit 2022 Vorstandsvor-
sitzende der aus der Trumpf
GmbH + Co. KG hervorge-
gangenen Trumpf SE + Co.
KG mit mehr als 19 000 Mit-
arbeitenden und einem Um-
satz von 5,4 Milliarden Euro
im Geschäftsjahr 2022/23.
Trumpf ist ein international
tätiges Familienunterneh-
men mit mehr als 70 Stand-
orten in Europa, Amerika
und Asien.
- ▶ trat 1984 als Referentin für
Öffentlichkeitsarbeit in die
Maschinenfabrik Trumpf ein.
- ▶ studierte Germanistik und
Anglistik an der Albert-Lud-
wigs-Universität Freiburg,
im Anschluss Germanistik,
Anglistik und Japanologie an
der Universität Zürich.
- ▶ ist Vizepräsidentin des Stif-
terverbands für die Deutsche
Wissenschaft, Senatsmitglied
der Max-Planck-Gesellschaft,
dazu des Hochschulrats der
TU München.

reich pochen müssen, versteht sich von selbst.
Dass wir als deutsche Industrie nur dann eine
Chance auf dem zunehmend unbequemen Welt-
markt haben, wenn wir auch über die Grenzen
des politisch Erwünschten nachdenken dürfen
– sei es in Fragen der Biologie oder auch der
Antriebs- und Energietechnologien, die derzeit
bei uns vielleicht unter keinem günstigen Stern
stehen, aber im Ausland nachgefragt werden:
Auch das versteht sich von selbst.

Am Anfang aller Gedanken scheint mir
darum das Nachdenken darüber zu stehen,
ob wir wieder vertrauen lernen müssen. Ver-
trauen in ein wissenschaftliches Expertentum,
das nur sich selbst und nicht einer politischen
Linie verpflichtet ist. Vertrauen in Institutio-
nen. Vertrauen in Informationen, die geprüft
und im besten Sinne gefiltert wurden.

Wer öffentlich darüber nachsinnt, ob
Deutschland als Industriestandort einen ideo-
logischen Irrweg in der Energiepolitik bestrei-
tet, oder sich ohne jede Not von wichtigen Ex-
portpfaden der automobilen Zukunft verab-
schiedet, darf nicht zum »Skeptiker« (oder gar
Häretiker) erklärt werden, sondern ist eine
berechtigte Stimme neben anderen.

Die Welt orientiert sich nicht an uns

Wir werden die Dinge nicht dadurch auf-
halten, dass wir uns einreden, die Techno-
logien der Zukunft vorgeben zu können. Die
Welt kümmert sich nur bedingt – und meiner
Wahrnehmung nach: immer weniger – um die
Prioritäten, die hierzulande gesetzt werden.

Selbst wenn der demokratische Prozess
in Deutschland darum den einen oder anderen
Weg anders als unsere Konkurrenten in Asien
oder Amerika beschreiten mag: Wissenschaft
bedeutet für mich im Kern auch, eine Frage-
stellung um ihrer selbst willen zu verfolgen.
Und unabhängig von der praktischen Umset-
zung sprechfähig zu bleiben, die Optionen
geistig stets zu erweitern, anstatt sie zu limi-
tieren, keinen Denkverbote zu unterliegen
– und diese Freiheit auch dem anderen zuzu-
billigen. Ein demokratisches Grundprinzip.

Gerade Bildung und Sprache, die sich auf
Toleranz und die Fähigkeit zuzuhören grün-
den, sind Ausdruck unserer Persönlichkeit.
Denn wie der Naturwissenschaftler und Phi-
losoph Max Bense einmal formulierte: Wir
werden der Technik nicht entgehen, indem wir
die Physik verlernen. Und Exzellenz gedeiht
nur in einem Klima geistiger Freiheit. ■

A person is shown from the chest up, wearing a dark jacket over a white t-shirt. They are holding a red and black vape pen in their right hand, and a large, billowing cloud of white vapor is rising from the device, partially obscuring their face. The background is a plain, light-colored wall.

Mehr Sicherheit für Vaper

E-Zigaretten gelten – im Vergleich zu normalen Zigaretten – als weniger gesundheitsschädlich. Unbedenklich sind sie jedoch nicht. Eine neue Fraunhofer-Entwicklung ermöglicht erstmals eine markenunabhängige Analyse von E-Liquids.

Von Britta Widmann

Styling, Technologie, Aroma, Nikotinhalt: Die Auswahl bei E-Zigaretten und den dazugehörigen Liquids wächst seit Jahren. Diese zunehmende Vielfalt erschwert jedoch eine allgemeingültige Bewertung des gesundheitlichen Risikos. Ein Forschungsteam am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM hat nun ein patentiertes System entwickelt, das eine Testung der Liquids unter kontrollierten Bedingungen ermöglicht, sodass die Ergebnisse unabhängig von dem verwendeten Vaping-Modell vergleichbar sind.

Die in E-Zigaretten verdampften E-Liquids sind in der Regel eine Mischung aus Propylenglykol, Glycerin, Duft- und Aromastoffen und Nikotin. Diese Mischung darf nach der Tabakerzeugnisverordnung weder in erhitzter noch in unerhitzter Form ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen. Für viele Inhaltsstoffe ist jedoch gar nicht bekannt, wie sie sich beim Erhitzen verhalten. Beim Verdampfen der Liquids könnten beispielsweise Substanzen, die man in ihrer kalten Form unbedenklich schlucken oder inhalieren darf, in toxikologisch bedenkliche Stoffe zerfallen. Auch einige Zusatzstoffe und Lebensmittelaromen, die den Geschmack von E-Zigaretten verbessern sollen, sind noch nicht ausreichend untersucht. »Nikotin ist temperaturstabil, beim Erhitzen auf 500 Grad bleibt es als Molekül erhalten«, erläutert Dr. Stefanie Scheffler, Wissenschaftlerin am Fraunhofer ITEM in Hannover. »Anders verhält es sich mit anderen Zusatzstoffen. Ein Beispiel dafür ist das Süßungsmittel Sucralose, das auch in E-Liquids eingesetzt wird. Sucralose ist thermolabil, zerfällt schon bei 120 Grad Celsius und bildet Stoffe, die als krebserregend gelten. Daher verzichten immer mehr Hersteller von E-Liquids auf den Süßstoff.«

Verdampft unter kontrollierten Bedingungen

Die Chemikerin und ihr Team haben ein portables Laborgerät namens EVape entwickelt, in dem sich E-Liquids im gesamten relevanten Temperaturbereich testen lassen. Dies war bislang nicht möglich, auch weil die Temperatur in E-Zigaretten je nach Modell und integriertem Akku stark variiert – was zur Folge hat, dass bei unterschiedlichen E-Zigaretten auch andere Spalt- und thermische Zersetzungsprodukte entstehen können. Herstel-

ler müssen zwar toxikologische Daten der Flüssigkeiten sowie ihrer Emissionen offenlegen, doch da diese mithilfe unterschiedlicher E-Zigarettenmodelle mit diversen Temperaturprofilen erzeugt werden, sind die Ergebnisse nicht universell gültig. Bislang existierte kein Testsystem, das den gesamten Temperaturbereich zwischen 150 und 350 Grad Celsius abdeckt. EVape hingegen lässt sich an Standard-Analysegeräte anschließen und gewährleistet eine Verdampfung des Liquids unter kontrollierten Bedingungen. Die Testresultate sind dadurch unabhängig von der verwendeten E-Zigarette und somit vergleichbar.

»Sucralose ist thermolabil, zerfällt schon bei 120 Grad Celsius und bildet Stoffe, die als krebserregend gelten.«

Dr. Stefanie Scheffler, Fraunhofer ITEM

Die Testung der E-Liquids bei variierenden Temperaturen findet im EVape unter realen Bedingungen statt: »Wir tragen kleine Mengen des Liquids auf eine heiße Heizoberfläche auf, wobei es sofort verdampft wird. Den Dampf saugen wir ab, überführen ihn in die Analysegeräte und prüfen, welche Substanzen sich im Dampf befinden. Diese können mit den analysierten Stoffen vor dem Verdampfen verglichen werden, um eine Aussage über deren Thermostabilität zu erhalten«, beschreibt Dr. Scheffler die Testung. Erste Ergebnisse belegen, dass das Spektrum der gefundenen Stoffe temperaturabhängig ist.

EVape bietet Herstellern somit bereits vor der Produktion der E-Liquids die Möglichkeit, potenziell gefährliche Substanzen auszuschließen. Darüber hinaus soll EVapes auch Kontrollbehörden bei der Überwachung der auf dem Markt bereitgestellten E-Zigaretten-Liquids unterstützen. Scheffler: »Wir wollen EVape auslizenzieren und Laboratorien, Überwachungsbehörden und der Industrie zur Verfügung stellen. Wir streben den Einsatz als Referenzgerät an, sodass E-Liquids erst nach der Qualitätskontrolle mit unserem Testsystem auf den Markt kommen.« ■

Im Schwarm Land und Leute schützen

Drohnen oder Landroboter lassen sich zu einem intelligenten Schwarm zusammenschließen. Für die Steuerung wird nur ein Mensch benötigt. Damit bricht für die Landesverteidigung oder den Schutz kritischer Infrastrukturen ein neues Zeitalter an.

Von Mehmet Toprak

Die Bundeswehr könnte schon bald dringend benötigte Verstärkung bekommen: Robotertechnologie soll die Truppe künftig entlasten und unterstützen. Fraunhofer-Forschende arbeiten an Konzepten, die es ermöglichen, dass ein einziger Mensch einen ganzen Schwarm von Robotern dirigiert.

Welche Möglichkeiten die neue Technik eröffnet, war im Juni 2024 auf dem 12. European Land Robot Trial (ELROB) in Trier zu besichtigen. Die Robotersysteme von 18 internationalen Teams wetteiferten hier in Disziplinen wie Aufklärung, Transport oder Bergung von Verletzten miteinander. Sie mussten in einem dunklen Tunnel navigieren, Hindernisse beseitigen, sich durch enge Türen zwängen, Treppen überwinden, Sprengfallen umfahren und Verwundete bergen. Die Teams kamen von Universitäten, Forschungsorganisationen oder Unternehmen. »Die Wettbewerbe machen einfach Spaß. Abends trifft man sich beim Get-together zum Gedankenaustausch. Manche setzen sich nachts im Hotelzimmer noch ans Notebook, um ihren Programmcode für den nächsten Wettbewerb zu optimieren«, erzählt Dr. Matthias Nieuwenhuis, Forscher der Abteilung »Kognitive Mobile Systeme« des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE in Wachtberg. Das Fraunhofer-Institut richtete ELROB gemeinsam mit dem Amt für Heeresentwicklung der Bundeswehr aus.

Nieuwenhuis ist Spezialist für Mehr-Roboter-Systeme, auch Schwarmssysteme genannt. Die Bundeswehr setzt große Hoffnungen auf diese Technologie: Als Drohnenschwarm in der Luft, als Verbund fahrender Landroboter oder im Wasser sollen sie schon

bald einen wesentlichen Beitrag für die Stärkung der Verteidigung und den Schutz kritischer Infrastrukturen leisten. Nieuwenhuis beschreibt den entscheidenden Vorteil: »Bisher steuerte eine Person eine Drohne oder einen Roboter. In Zukunft wird eine Person einen ganzen Schwarm solcher Flug- oder Landfahrzeuge auf Mission schicken.«

Der Schwarm erhält vom Menschen einen Auftrag, beispielsweise die Überwachung oder Erkundung eines bestimmten Areals, etwa ein Waldstück oder auch ein Gebiet über dem Meer. Nach dem Start organisiert sich der Robotertrupp selbst und sucht das entsprechende Gebiet ab. Dabei nutzt er Kameras, GPS, Infrarot- oder Wärmebildsensoren und analysiert die eingehenden Daten. Der Schwarm detektiert verdächtige Objekte und sendet eine entsprechende Meldung an den Menschen, der wiederum Maßnahmen einleiten kann.

General a.D. Jörg Vollmer, zuletzt Inspekteur des Heeres und Befehlshaber Allied Joint Force Command Brunssum, berät das Fraunhofer FKIE als Chief Advisor Military Affairs. »Die Schwarmssysteme sind ideal, um größere Gebiete zu überwachen«, erklärt er. »Sie können auch andere Aufgaben übernehmen, etwa bei der Bergung von Verletzten helfen oder beim Transport von Lasten.« Im zivilen Bereich, beispielsweise bei der Kontrolle von Windenergieparks, könnten Drohnenschwärme ein havariertes Schiff, das gefährlich nahe kommt, identifizieren oder vor Sabotage-Akten warnen.

Die Architektur des Schwarms

Was macht einen Schwarm zum Schwarm? Die Tatsache, dass viele Drohnen oder Roboter gleichzeitig ►



Sich beweisen in realistischen Szenarien: Beim ELROB trifft sich die Militärrobotik aus der ganzen Welt.



»Fällt ein Fluggerät aus, organisiert sich der Schwarm sofort neu. Der Mensch bedient dabei nur die Führungsdrohne.«

Jonas Rockbach,
Fraunhofer FKIE

unterwegs sind, genügt da nicht. Forschende wie der Kognitionswissenschaftler Jonas Rockbach vom Fraunhofer FKIE arbeiten an Antworten auf diese Frage und entwickeln Konzepte für die Kommunikations- und Befehlsarchitektur des steuerbaren Schwarms. »Ein vielversprechendes Konzept basiert darauf, dass eine oder mehrere steuerbare Drohnen die Schwarmführung übernehmen und die anderen Teilnehmer durch lokalen Informationsaustausch dirigieren. Diese wiederum könnten preiswerte Fluggeräte sein, die nicht viel mehr können als fliegen und Sensordaten weiterleiten. Fällt ein Fluggerät aus, organisiert sich der Schwarm sofort neu. Der Mensch bedient dabei nur die Führungsdrohne.« So kann ein Schwarm gesteuert werden ohne Verlust seiner Vorteile: Robustheit, Skalierbarkeit und Flexibilität.

Neben klassischen Drohnen-Jobs wie Überwachung oder Erkundung beherrschen die Mehr-Roboter-Systeme auch Transportmissionen. Dabei folgt ein Landroboter dem Soldaten oder der Soldatin und zeichnet mithilfe von Kameras, Sensoren und GPS den Weg auf. Wenn die Truppe Stellung bezieht, erhält das Mehr-Roboter-System den Auftrag, Proviant, Werkzeug oder Munition zu holen. Ein Trupp fahrender Roboter bringt schließlich den bestellten Nachschub. Nieuwenhuisen freut sich: »Auch auf unwegsamen Feldwegen, auf denen etwa heruntergefallene Äste die Fahrt erschweren, funktioniert es inzwischen sehr gut.«

Die Fraunhofer-Forschenden legen größten Wert auf intuitive Bedienung. Nieuwenhuisen und sein Team haben deshalb eine Jacke an den Ärmeln mit Bewegungssensoren ausgestattet, die zur Steuerung von Roboterarmen dient. Nach kurzer Einweisung kann jede Soldatin und jeder Soldat die Robotersysteme steuern.

Radioaktive Quellen schnell aufspüren

Drohnen oder Drohnenschwärme sollen in Zukunft auch helfen, radioaktive Quellen schnell aufzuspüren, die etwa bei einem terroristischen Anschlag platziert werden. Claudia Bender, Forscherin der Abteilung »Sensordaten- und Informationsfusion« am Fraunhofer FKIE, leitet das Projekt. Gemeinsam mit ihrem Team ist es Bender gelungen, ein funktionierendes System zu bauen. Die mit einem Gammadetektor und weiteren Sensoren ausgestatteten Fluggeräte suchen selbstständig ein bestimmtes Gebiet ab, sammeln kontinuierlich Daten über die Umgebung und erstellen eine Heatmap für die Intensität der Strahlung. Die Drohnen folgen dabei nicht einfach der Stärke des gemessenen radioaktiven Signals, sondern berechnen von Anfang an die Wahrscheinlichkeit, in welcher Region die radioaktive Quelle liegen könnte. Bender: »Wir können schon heute innerhalb weniger Minuten eine nur wenige Zentimeter große radioaktive Quelle auf einem Gebiet von 160 000 Quadratmetern aufspüren.«

Mit all diesen Projekten verfolgt das Fraunhofer FKIE das übergeordnete Ziel, die Technologien zu einer Art Betriebssystem zusammenzuführen, das alle Funktionen, Kommunikationsstandards, Dateiformate und Softwaremodule in einer bedienfreundlichen Technologieplattform zusammenfasst. General a.D. Vollmer: »Die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer FKIE wollen hier sehr schnell zu Ergebnissen kommen. Denn die Zeit drängt. Schwarmsysteme sollten schon bald in der Lage sein, die Menschen zu unterstützen und vor allen denkbaren Gefahren zu schützen – egal, ob zu Wasser, auf dem Land oder in der Luft.«



Im Anrollen:
Dr. Matthias
Nieuwenhuisen (r.)
und das Team des
Fraunhofer FKIE.

Staffellauf des Wissens

Forschung

***für
Sicherheit***

»Fällt ein Fluggerät aus, organisiert sich der Schwarm sofort neu. Der Mensch bedient dabei nur die Führungsdrohne.«

Jonas Rockbach,
Fraunhofer FKIE

unterwegs sind, genügt da nicht. Forschende wie der Kognitionswissenschaftler Jonas Rockbach vom Fraunhofer FKIE arbeiten an Antworten auf diese Frage und entwickeln Konzepte für die Kommunikations- und Befehlsarchitektur des steuerbaren Schwarms. »Ein vielversprechendes Konzept basiert darauf, dass eine oder mehrere steuerbare Drohnen die Schwarmführung übernehmen und die anderen Teilnehmer durch lokalen Informationsaustausch dirigieren. Diese wiederum könnten preiswerte Fluggeräte sein, die nicht viel mehr können als fliegen und Sensordaten weiterleiten. Fällt ein Fluggerät aus, organisiert sich der Schwarm sofort neu. Der Mensch bedient dabei nur die Führungsdrohne.« So kann ein Schwarm gesteuert werden ohne Verlust seiner Vorteile: Robustheit, Skalierbarkeit und Flexibilität.

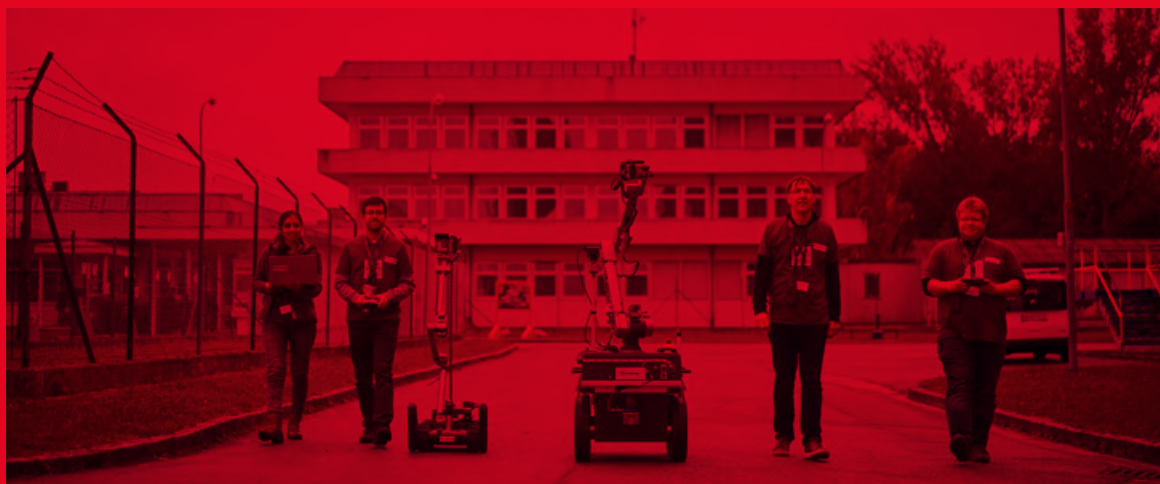
Neben klassischen Drohnen-Jobs wie Überwachung oder Erkundung beherrschen die Mehr-Roboter-Systeme auch Transportmissionen. Dabei folgt ein Landroboter dem Soldaten oder der Soldatin und zeichnet mithilfe von Kameras, Sensoren und GPS den Weg auf. Wenn die Truppe Stellung bezieht, erhält das Mehr-Roboter-System den Auftrag, Proviant, Werkzeug oder Munition zu holen. Ein Trupp fahrender Roboter bringt schließlich den bestellten Nachschub. Nieuwenhuisen freut sich: »Auch auf unwegsamen Feldwegen, auf denen etwa heruntergefallene Äste die Fahrt erschweren, funktioniert es inzwischen sehr gut.«

Die Fraunhofer-Forschenden legen größten Wert auf intuitive Bedienung. Nieuwenhuisen und sein Team haben deshalb eine Jacke an den Ärmeln mit Bewegungssensoren ausgestattet, die zur Steuerung von Roboterarmen dient. Nach kurzer Einweisung kann jede Soldatin und jeder Soldat die Robotersysteme steuern.

Radioaktive Quellen schnell aufspüren

Drohnen oder Drohnenschwärme sollen in Zukunft auch helfen, radioaktive Quellen schnell aufzuspüren, die etwa bei einem terroristischen Anschlag platziert werden. Claudia Bender, Forscherin der Abteilung »Sensordaten- und Informationsfusion« am Fraunhofer FKIE, leitet das Projekt. Gemeinsam mit ihrem Team ist es Bender gelungen, ein funktionierendes System zu bauen. Die mit einem Gammadetektor und weiteren Sensoren ausgestatteten Fluggeräte suchen selbstständig ein bestimmtes Gebiet ab, sammeln kontinuierlich Daten über die Umgebung und erstellen eine Heatmap für die Intensität der Strahlung. Die Drohnen folgen dabei nicht einfach der Stärke des gemessenen radioaktiven Signals, sondern berechnen von Anfang an die Wahrscheinlichkeit, in welcher Region die radioaktive Quelle liegen könnte. Bender: »Wir können schon heute innerhalb weniger Minuten eine nur wenige Zentimeter große radioaktive Quelle auf einem Gebiet von 160 000 Quadratmetern aufspüren.«

Mit all diesen Projekten verfolgt das Fraunhofer FKIE das übergeordnete Ziel, die Technologien zu einer Art Betriebssystem zusammenzuführen, das alle Funktionen, Kommunikationsstandards, Dateiformate und Softwaremodule in einer bedienfreundlichen Technologieplattform zusammenfasst. General a.D. Vollmer: »Die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer FKIE wollen hier sehr schnell zu Ergebnissen kommen. Denn die Zeit drängt. Schwarmsysteme sollten schon bald in der Lage sein, die Menschen zu unterstützen und vor allen denkbaren Gefahren zu schützen – egal, ob zu Wasser, auf dem Land oder in der Luft.« ■



Im Anrollen: Dr. Matthias Nieuwenhuisen (r.) und das Team des Fraunhofer FKIE.

Staffellauf des Wissens

Herr Prof. Beyerer,
was kann
Forschung in
diesen **Zeiten**
für unsere
Sicherheit tun?

Staffellauf des Wissens, Folge 13

Herr Prof. Beyerer, was kann Forschung in diesen Zeiten für unsere Sicherheit tun?

Serie:

Staffellauf des Wissens

Unsere Zeit wirft **viele Fragen auf – Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten.** Eine Fachfrau oder ein Fachmann gibt **eine Antwort** und stellt **eine Frage**, die sie oder er an den nächsten **Experten weiterreicht** – ein **»Staffellauf des Wissens«.**

In dieser Ausgabe antwortet **Prof. Jürgen Beyerer**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, auf eine Frage von **Prof. Holger Hanselka**, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

Sicherheit ist ein sehr vielschichtiges Konzept. Sicherheit liegt vor, wenn das gesamte Risiko unter einem akzeptierten Niveau bleibt.

Sicherheit kann auf unterschiedliche Weise gefährdet werden: physisch, chemisch, biologisch, psychologisch, wirtschaftlich sowie Informationen und Informationstechnik betreffend.

Sicherheit ist dabei unteilbar; nur wenn wir gleichzeitig ausreichend sicher sind vor natürlichen, technischen, kriminellen, terroristischen und militärischen Gefahren, sind wir im Ganzen sicher.

Für eine umfassende Sicherheit muss außerdem die zeitliche Dimension mitbetrachtet werden. Wie bereitet man sich auf Gefahren vor, was macht man, wenn diese eintreten, wie bewältigt man bestmöglich die Folgen tatsächlich eingetretener Schadensereignisse und wie lernt man daraus für die Zukunft? Diese ganzheitliche Sicht ist Gegenstand der Resilienzforschung.

Die auf viele Fraunhofer-Institute verteilte Forschung zu ziviler Sicherheit und Verteidigung deckt dabei nahezu die ganze genannte Bandbreite ab. Für natürlich verursachte Risiken entstehen in unserer Forschung beispielsweise Vorhersagesysteme und



Prof. Jürgen Beyerer, 62, leitet geschäftsführend das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB und ist Vorsitzender des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS.

Wie bewältigt man bestmöglich die **Folgen** tatsächlich eingetretener **Schadenserignisse** und wie lernt man daraus **für die Zukunft?**

Systeme, mit denen entsprechende Krisen und Katastrophen bewältigt werden können. Ein Beispiel ist das Einsatzführungs- und Kommunikationssystem SE/EKUS. Es unterstützt Spezialeinheiten der Polizei bei der Einsatzvorbereitung, der Einsatzführung und der Kommunikation. Das preisgekrönte und als Bundesstandard etablierte System stellt Web- und Servertechnologien mit mobilen Anwendungen bereit. So werden Einsatzkräfte vor Ort im Notfall über mobile Applikationen eingebunden.

Kriminelle und terroristische Gefährder müssen in ihrem Tun frühzeitig erkannt werden, um ihre Absichten möglichst zu vereiteln. Zur Verfolgung von Straftaten, ob nun digital oder physisch begangen, sind bei Fraunhofer entwickelte Technologien hilfreich. Technisch bedingten Risiken muss mit geeigneten Entwurfsverfahren, Technologien und Schutzmechanismen begegnet werden, um Safety von Beginn an und dauerhaft zu gewährleisten.

Und schließlich zeigt der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine, dass wir uns auch massiv um unsere militärische Sicherheit kümmern müssen.

Unsere Verteidigungsfähigkeit von morgen und unsere strategische Souveränität hängen essenziell von einer exzellenten Verteidigungsforschung ab, wie sie etwa von den Instituten des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS geleistet wird.

Allein in der Ukraine soll ein Drittel der Landfläche mit Minen verseucht sein. Immer wichtiger werden deshalb von Fraunhofer-Forschenden erarbeitete Technologien, etwa der Ultrabreitbandradar, der dank eines Frequenzbereichs zwischen 400 Megahertz und 6 Gigahertz tief in den Boden eindringt. Um Sprengfallen mit weniger Risiko zu entschärfen, genügt dann manchmal schon ein kurzer Wasserstoß – ein durch Pyrotechnik angetriebener Wasserstrahl kann Kampfmittel durch den kinetischen Impuls zerstören.

Die verschiedenen Facetten von Sicherheit sind in der Weise nicht unabhängig voneinander, als dass viele der technischen aber auch organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der Sicherheit und zur Bewältigung von Krisen und Katastrophen gleichzeitig für mehrere Aspekte der Sicherheit nützlich sind.

Aufgrund der Vielgestaltigkeit und Komplexität des Themas sollte Sicherheit in der Forschung auch wirklich ganzheitlich betrachtet werden. Insbesondere sollte jetzt und zukünftig keine Unterscheidung mehr zwischen »guter« und »böser« Sicherheitsforschung vorgenommen werden. Spätestens die sogenannte Zeitenwende hat gezeigt, dass diese politisch motivierte Einteilung zwischen Zivilem und Militärischem überholt ist und nicht die passenden Antworten auf die Herausforderungen gibt.

Durch den Verzicht auf diese Schubladen ließen sich sicherlich noch viele Synergien in der Forschung realisieren, um damit einen noch stärkeren technologischen Beitrag für eine umfassende Sicherheit leisten zu können. ■

In der nächsten Ausgabe:

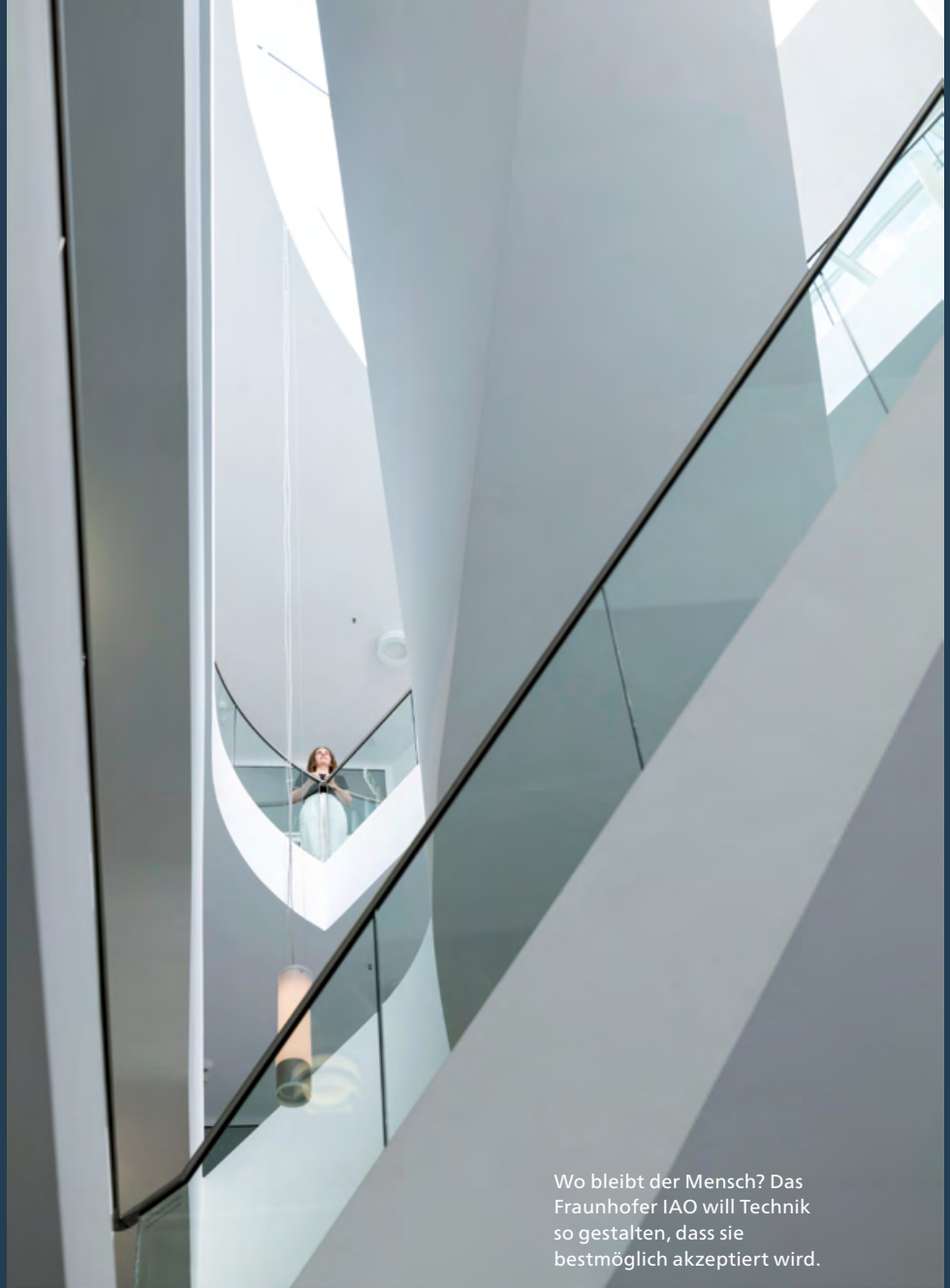
Welche Beiträge kann Fraunhofer für den *Kampf* gegen das weltweite *Artensterben* leisten?



Was bringt die Zukunft? Ingenieurpsychologin Selina Layer forscht am Fraunhofer IAO zur Roboter-Mensch-Interaktion.



Gibt es Hightech auch in niedriglich? Layer mit NIKA, einem Kompagnon-Roboter für ältere Menschen.



Wo bleibt der Mensch? Das Fraunhofer IAO will Technik so gestalten, dass sie bestmöglich akzeptiert wird.



Jetzt mit Köpfchen!

Die nächste Evolutionsstufe der Technik steht an: Künstliche Intelligenz soll Roboter zu selbstlernenden Allroundern für Industrie, Logistik, Pflege und Privathaushalt machen. Werden smarte Maschinen unser (Arbeits-)Leben schon bald grundlegend verändern?

Von Beate Strobel, Fotografie: Sven Döring



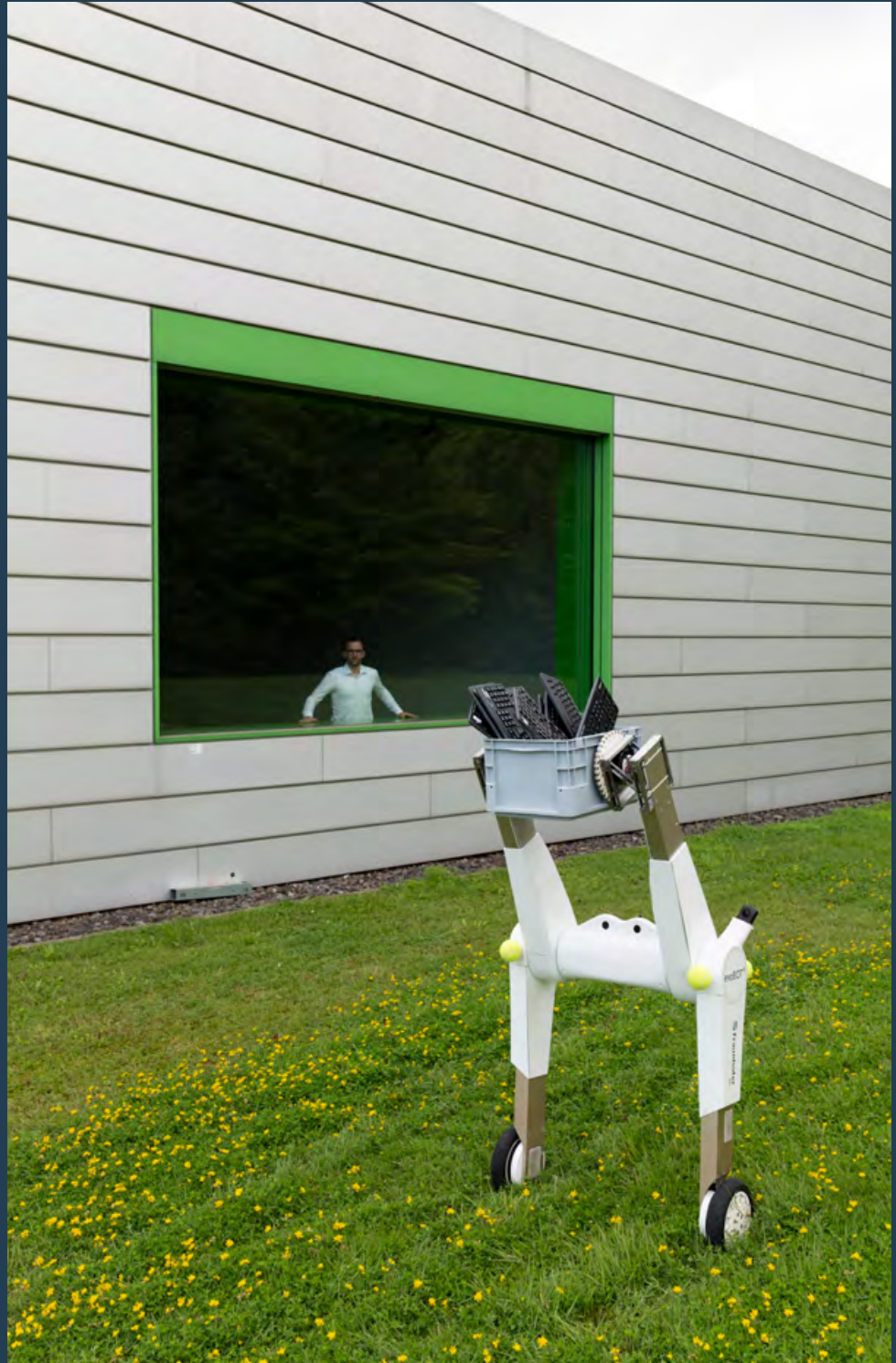
Wie arbeiten wir morgen? Fraunhofer unterstützt Unternehmen dabei, KI für Robotik nutzbar zu machen.



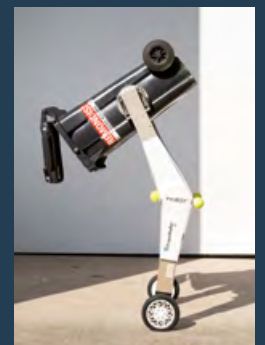
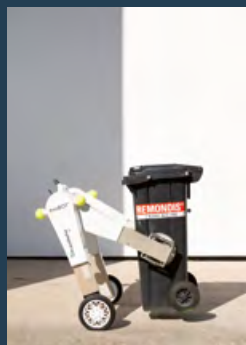
Hilfe benötigt?
Der Job des
evoBOT® ist der
autonome
Transport von
Gegenständen.



Wohin geht die Reise? Mit einem Forschungsteam hat Leon Siebel-Achenbach am Fraunhofer IML den evoBOT® bewusst modular entwickelt, um viele Nutzungsvarianten abzudecken.



Der evoBOT® auf Testfahrt auf dem Flughafen München – hier geht's zum Video.

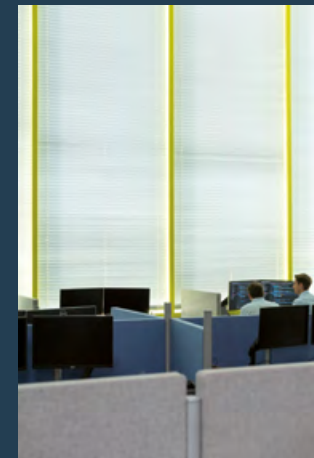




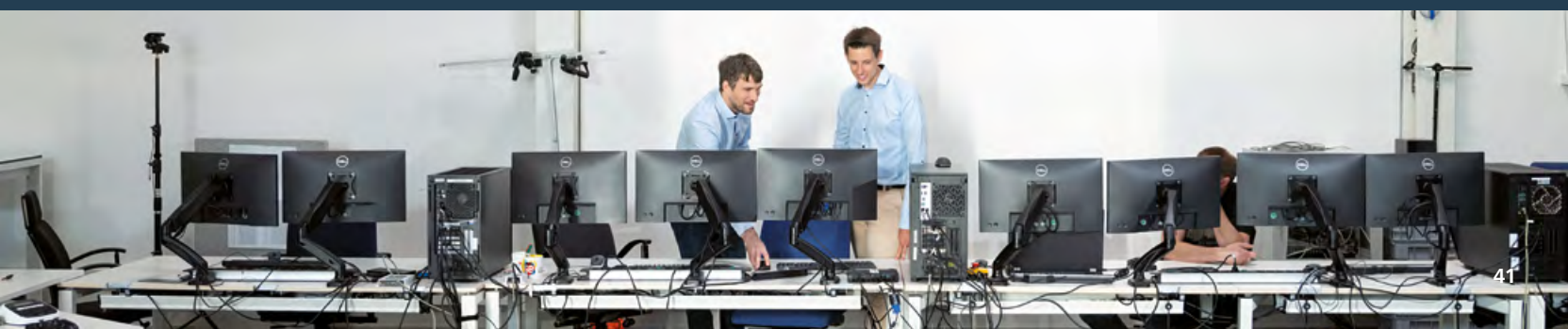
Darf's noch etwas KI sein? Informatiker Sebastian Hoose (auch Foto r.o.) hat am Fraunhofer IML mit »RAI – Remote AI« ein transportables System entwickelt, das Roboter mit kognitiven Fähigkeiten ausstattet.



Wie lernen KI-Roboter? Christian Jestel (u.) trainiert am Fraunhofer IML den RoboMaster in der Simulation mit Belohnung und Bestrafung.



Nicht nur viel im Kasten: Sebastian Hooses transportable »RAI – Remote AI« erfreut zusätzlich durch ihr fröhliches Design.



Wenn er geht, sieht es noch gefährlich nach geriatrischem Schlurfen aus. Dafür kann Optimus aber inzwischen ein rohes Ei aus dem Karton heben und im Eierkocher platzieren. Große Hoffnungen ruhen auf den breiten Metallschultern des Bots: Tesla-Chef Elon Musk, offizieller Vater von Optimus, prognostizierte schon – vollmundig wie immer –, dass humanoide KI-Roboter wie Optimus die Wirtschaft komplett auf den Kopf stellen werden.

Optimus ist nicht das einzige Exemplar seiner Art. Figure 2 aus den Tech-Laboren des US-amerikanischen Softwareunternehmens OpenAI kann sprechen und Geschirr in die Spülmaschine räumen, Atlas von Boston Dynamics beherrscht Saltos und durchläuft selbst schwierige Parcours. Der Armar-7, kreiert vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Support im Alltag, kann Türen öffnen, mit Menschen interagieren und kleine Mahlzeiten zubereiten. Diese Erfolge lassen die Erwartungen der Öffentlichkeit an KI-basierte Robotik steigen. Bei manchen Visionären hört es sich bereits so an, als wäre das »Terminator«-Zeitalter längst angebrochen.

Viele Fraunhofer-Experten sehen dies anders. »Entwicklungen wie der Optimus von Tesla schaffen natürlich Aufmerksamkeit. Doch die eigentlichen Innovationen entstehen woanders. Ein Schweißroboter mag nicht so sexy sein wie Optimus, spielt aber in der industriellen Produktion schon heute eine sehr viel größere Rolle«, sagt Dr.-Ing. Werner Kraus, Leiter des Forschungsbereichs Automatisierung und Roboter am Stuttgarter Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. »Wir haben große und berechtigte Zweifel, dass die humanoiden Roboter in den nächsten zwei bis fünf Jahren wesentlich zur Wertschöpfung beitragen werden.«

Trotzdem führt auch für Kraus kein Weg an smarten Robotern vorbei: »KI braucht Robotik – und Robotik braucht KI«, steht für den Mechatronik-Ingenieur fest. Hier komme zusammen, was sich perfekt ergänzt: Der Roboter besaß bislang

nicht die nötige Intelligenz, um mehr als nur einen festen Satz einprogrammierter Bewegungen auszuführen. Der Künstlichen Intelligenz wiederum fehlte der Körper, um in der realen Welt aktiv zu werden. »Die Vision ist, dass der Roboter irgendwann mitdenkt und proaktiv tätig wird«, sagt Kraus. »Bislang aber sind wir schon froh, wenn wir dem Roboter eine gewisse Flexibilität bei der Aufgabenbewältigung verleihen können – etwa, um auch Gegenstände korrekt zu greifen, die er vorher noch nie gesehen hat.«

»KI braucht
Robotik
– und
Robotik
braucht KI.«

Dr.-Ing. Werner Kraus,
Fraunhofer IPA

Der berühmte Griff in die Kiste

Dem Roboter das Greifen beibringen: Daran arbeitet seit mehreren Jahren ein Forschungsteam am Fraunhofer IPA. Die Automatisierung des sogenannten »Griff in die Kiste« – englisch »Bin Picking« – gilt als eine der Königsdisziplinen der Robotik. In vielen Bereichen der industriellen Produktion fallen große Mengen Schüttgut an, die möglichst sortenrein getrennt werden sollen. Die Aufgabe ist monoton, körperlich belastend und kostenintensiv – und dadurch bestens geeignet für den Kollegen Roboter. Für den allerdings ist dieser Job höchst anspruchsvoll: Das Gros der Industrieroboter, die hier aktuell im Einsatz sind, verwendet bestenfalls einen Laserscan, um vorher gelernte Gegenstände unterscheiden zu können.

Künstliche Intelligenz versucht, die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen nachzuahmen, indem sie – wie der Homo sapiens auch – eingehende Informationen erkennt und sortiert. Allerdings wird dabei kein Lösungsweg vorgegeben: Der Algorithmus entwickelt bei diesem maschinellen Lernverfahren allein in der Simulation einen Weg, Aufgaben korrekt auszuführen. Durch das Training mit sehr großen Datenmengen können sogenannte Neuronale Netze – ein Untergebiet des Maschinellen Lernens – Muster und Zusammenhänge erkennen und auf dieser Basis dann Entscheidungen und auch Vorhersagen treffen. Dies bedingt, dass sie mit der Zeit immer besser werden.

Maschinelles Lernen kann auch bei der Handhabung unbekannter Objekte weiterhelfen: Im Forschungsprojekt Deep Grasping wurden Neuronale Netze in einer virtuellen Simulationsumgebung für die Objekterkennung trainiert und anschließend auf reale Roboter übertragen. Inzwischen ist das Robotersystem in der Lage, selbst verhakete Bauteile zu erkennen und sein Greifen so zu planen, dass es diese voneinander lösen kann. Zudem wird an Automatisierungssystemen gearbeitet, die sich selbstständig konfigurieren, etwa durch die automatische Wahl von Greifer und Greifposen – Stichwort »Automatisierung der Automatisierung«.

Dinge aus einer Kiste zu klauben und anderswo abzulegen: Das klingt banal angesichts der von Optimus & Co. geweckten Hoffnungen. Doch diese scheinbar kleinen Jobs basieren auf riesigen Fortschritten in der Robotik. Werner Kraus verweist hier auf das sogenannte »Moravec'sche Paradox«: Gerade Aufgaben, die uns Menschen unglaublich simpel erscheinen, sind für Roboter tatsächlich extrem schwierig. Oder wie es der kanadische Wissenschaftler Hans Moravec formulierte: »Es ist vergleichsweise leicht, Computer dazu zu bringen, Leistungen auf Erwachsenenniveau bei Intelligenztests oder beim Dame-Spiel zu erbringen – und schwierig bis unmöglich, ihnen die Fähigkeiten eines Einjährigen in Bezug auf Wahrnehmung und Mobilität zu vermitteln.«

Der Einzug der KI in die Robotik soll helfen, diese Hürden zu überwinden, und gilt als einer der bahnbrechenden Trends in der Digitalisierung der industriellen Produktion. Das Marktforschungsunternehmen Mordor Intelligence etwa prognostiziert für den Robotikmarkt bis 2029 eine jährliche Wachstumsrate von 29 Prozent. Smarte Industrieroboter können Produktionsgeschwindigkeit, Genauigkeit und Sicherheit steigern, die Fehlererkennung und -behebung erleichtern und die Produktion durch vorausschauende Wartung resilient machen.

Um die Wirtschaft auf ihrem Weg in die Industrie 5.0 zu unterstützen, hat das Fraunhofer IPA gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart 2019 das KI-Forschungszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« gegründet – ein anwendungsorientierter Zweig des Cyber Valley, Europas größter Forschungskooperation im Bereich KI. Ziel ist, über praxisnahe Forschungsprojekte eine Brücke zu schlagen zwischen Technologien der KI-Spitzenforschung und dem Mittelstand.

In Magdeburg hat das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF gemeinsam mit Unternehmen Use Case Labs geschaffen, in dem das produzierende Gewerbe ihre Automatisierungsanforderungen präsentieren und maßgeschneiderte intelligente Robotik-Lösungen erarbeiten kann. Das Spitzenforschungsinstitut Lamarr – eines von fünf universitären KI-Kompetenzzentren bundesweit, die als Teil der KI-Strategie der Bundesregierung dauerhaft gefördert werden – gestaltet eine neue Generation der Künstlichen Intelligenz, die leistungsstark, nachhaltig, vertrauenswürdig und sicher zur Lösung zentraler Herausforderungen in Wirtschaft und Gesellschaft beiträgt. Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML bringt sich dabei unter anderem mit seiner Forschungsinfrastruktur PACE Lab ein.

Im Juli ist zudem das Robotics Institute Germany (RIG) gestartet, das zur zentralen Anlaufstelle für Robotik in Deutschland werden soll. An dem vom

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit 20 Millionen Euro geförderten Kompetenznetzwerk unter der Leitung der Technischen Universität München (TUM) sind neben den Fraunhofer-Instituten IPA und IML auch das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB beteiligt. Ziele des RIG sind, eine international wettbewerbsfähige Forschung für KI-basierte Robotik in Deutschland zu etablieren, Forschungsressourcen effektiv zu nutzen, Talente auf dem Gebiet der Robotik gezielt

»Ein humanoider Roboter wäre insgesamt für Industrie und Logistik völlig überentwickelt.«

Leon Siebel-Achenbach,
Fraunhofer IML

zu fördern und den Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie, in Logistikunternehmen und die Dienstleistungsbranche zu vereinfachen und voranzutreiben.

Roboter entsprechend ihrer Aufgabe entwickeln

Der Roboter als »der Neue« im Team muss nicht zwingend auf zwei Beinen einlaufen, denn das ist beim aktuellen Stand der Technik nicht die effektivste Art der Fortbewegung: zu energieintensiv, zu langsam, zu sturzgefährdet. »Ein humanoider Roboter wäre insgesamt für Industrie und Logistik völlig überentwickelt: zu viele Akteure, zu viele Freiheitsgrade, zu viele Motoren, die gar nicht für den jeweiligen Use Case nötig sind«, argumentiert Leon Siebel-Achenbach, stellvertretender

Leiter der Abteilung IoT und Eingebettete Systeme am Fraunhofer IML. »Wir müssen stattdessen mehr Roboter bauen, die nennenswert Leistung bringen können – gerade für Branchen, in denen der Fachkräftemangel bereits spürbar ist.«

Am Fraunhofer IML hat ein kreatives Projektteam bereits 2019 für den Logistikbereich den LoadRunner entwickelt – ein autonomes Highspeed-Fahrzeug mit dem Aussehen eines überdimensionierten Staubsauger-Roboters, der sich dank intelligenter Fahrzeugkoordination mit bis zu zehn Metern pro Sekunde selbst im Schwarm sicher bewegt und sich bei Bedarf mit seinen Roboterkollegen zusammenkoppeln kann. Als Transporter für Lasten bis zu 30 Kilogramm eignet sich der LoadRunner perfekt für Sortier- und Verteilungsaufgaben.

Auf den LoadRunner folgte 2021 unter Leitung von Patrick Klokowski der evoBOT®: »Projektziel ist die Entwicklung eines agilen Roboters für die Logistik, der Lasten selbstständig aufnehmen, transportieren und aktiv übergeben kann in einer Höhe, die auch von Menschen bedient wird«, beschreibt es Elektrotechnik-Ingenieur Leon Siebel-Achenbach. Statt auf zwei Beinen zu gehen, rollt der evoBOT® auf zwei Rädern heran, und das ganz schön flink. Der AMR (autonome mobile Roboter) basiert auf dem Prinzip des inversen Pendels, wie man es beispielsweise vom Segway kennt, einem sich selbst ausbalancierenden elektrischen Roller auf zwei Rädern. Links und rechts besitzt er zwei mit Greifern versehene »Arme«, mit denen er Gegenstände aufnehmen und transportieren kann.

Am Ende des Projekts soll der evoBOT® in der Lage sein, dank Künstlicher Intelligenz seine Umgebung und den Untergrund zu erkennen und zu kartografieren, sodass er sich frei in einem definierten Raum bewegen und Hindernissen ausweichen kann. Kamerasysteme unterstützen ihn dabei, Ladegut zu identifizieren und zu klassifizieren, es also korrekt aufzuheben, sich entsprechend des Gewichts auszubalancieren und die Ware an einem anderen Ort abzugeben. »Dann könnte ►

der evoBOT® komplett autonom als Serviceroboter eingesetzt werden«, so Siebel-Achenbach. »Interessant wäre dies etwa für die Logistikbranche oder auch im Krankenhaus – der Roboter könnte dort Betten transportieren oder Medikamente im Haus verteilen. Wir haben ihn bewusst modular entwickelt, sodass er hinsichtlich der Größe maximal skalierbar ist und zugleich möglichst viele Use Cases abdeckt.«

Das neue Lern-Paradigma

»Wir werden mit KI neue und bessere Lösungen für so manches komplexe Problem finden – ohne dass wir im Detail nachvollziehen können, wie die KI funktioniert«, prognostiziert Logistik-Experte Prof. Michael ten Hompel, der sich im April als Leiter des Fraunhofer IML in den Ruhestand verabschiedete. »Wir steuern damit auch auf ein neues Paradigma des Lernens zu.«

Sichtbar wird dies etwa beim Projekt iDEAR des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg. Vorrangig geht es dabei um mehr Nachhaltigkeit bei der Wiederverwertung von Ressourcen aus den gut 54 Millionen Tonnen (Stand 2019) Elektroschrott pro Jahr. Zugleich steht hier die Frage im Zentrum, welche Rolle Roboter dabei spielen könnten. Denn die Idee ist naheliegend, am Ende des Lebenszyklus elektronischer Geräte KI-gestützte Roboter einzusetzen.

Die Demontage von Hightech-Geräten ist allerdings sehr viel komplizierter als der Zusammenbau, da es um mehr geht, als eine bekannte Anzahl von Teilen in festgelegten Arbeitsschritten zusammenzufügen. »Rechner sind je nach Hersteller unterschiedlich gebaut, bei alten Geräten gibt es oft keine Anleitung mehr«, erklärt Prof. Norbert Elkmann, Abteilungsleiter Robotersysteme am Fraunhofer IFF. »Zudem sieht man dem Rechner seinen inneren Zustand von außen nicht an. Deshalb muss der Roboter während der Demontage selbstständig die Aktion für den nächsten Schritt generieren.«

Die Forschenden stehen hier also vor einem Paradigmenwechsel: »Die Arbeit mit vielen Unbekannten ist mit einem statischen Programm nicht zu bewältigen, sondern setzt ein adaptives Vorgehen voraus«, betont Magnus Hanses, Gruppenleiter Kognitive Robotik am Fraunhofer IFF. »Sobald ein Mensch bei einer Tätigkeit sagt, er entscheide über die nächste Aktion situativ und intuitiv, wird es schwierig für Programmierer. KI aber kann hier punkten.« Das Ziel von iDEAR ist die Entwicklung von Automatisierungssystemen, die

»Sobald ein Mensch bei einer Tätigkeit sagt, er entscheide über die nächste Aktion situativ und intuitiv, wird es schwierig für Programmierer. KI aber kann hier punkten.«

Magnus Hanses, Fraunhofer IFF

nicht nur flexibel, sondern auch intelligent reagieren können – und das von der Produktidentifikation und -bewertung über eine dynamische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bis hin zur Demontageplanung und -durchführung.

Wie bringt man all das einem Roboter bei? »Training auf dem realen System wäre wirtschaftlich nicht machbar, da zu zeitaufwendig und auch zu gefährlich«, erklärt Magnus Hanses. »Unser Ansatz ist, die Demontage-Prozesse in der Simulation zu modellieren. Im digitalen Raum können beliebig viele virtuelle Roboter parallel und in einem sehr viel höheren Tempo ohne Sicherheitsbedenken trainieren.« So lassen

sich automatisiert Lösungsstrategien für Teilprozesse in hoher Varianz finden. Dazu fließen Daten aus dem digitalen Zwilling durchgängig in den automatisierten Demontageprozess in der Realität ein, so wie umgekehrt die Informationen aus dem Abbau-Prozess dem digitalen Zwilling rückgemeldet werden. Auch das Erfahrungswissen von Menschen wird eingespeist, um so den Automatisierungsgrad noch weiter zu steigern. Allerdings sollte, so Hanses, KI nur dort eingesetzt werden, wo sie tatsächlich einen Mehrwert bietet: »Viele Teilprozesse lassen sich mit analytischen Methoden deutlich effizienter lösen.«

Die Lücke zwischen Simulation und Realwelt überbrücken

Das Lernen in der digitalen Simulation hat viele Vorteile – aber auch eine Schwachstelle: Die virtuelle Lernumgebung ist nie zu 100 Prozent deckungsgleich mit der realen Welt. »Die Herausforderung für die Forschung«, erklärt Informatiker Christian Jestel, »liegt darin, den sogenannten ›Reality Gap‹ klein zu halten«. Es gilt, die Simulation entweder möglichst identisch zur Realität zu gestalten oder aber maximal viele Varianten der Realität abzudecken, damit das Neuronale Netz zu generalisieren lernt und sich eines Tages dann auch in unbekanntem Umgebungen zurechtfindet.

Am Fraunhofer IML forscht Jestel mit sogenannten RoboMastern: Robotern eines chinesischen Herstellers, von denen der Wissenschaftler aber nur Chassis und Räder als Forschungsplattform für das sogenannte »Deep Reinforcement Learning« nutzt: Lernen mittels Belohnung und Bestrafung. In einer von Jestel entwickelten Simulation erhält die KI umso mehr Punkte, je schneller und störungsfreier sie an ein vorgegebenes Ziel gelangt. Entfernt sie sich davon oder stößt sie an ein Hindernis, werden ihr Punkte abgezogen.

»Anfangs probiert die KI einfach alles aus. Doch schon in den nächsten Trainingsrunden vermeidet sie jene Handlungen, die zu einem Punkteabzug geführt haben«, erklärt Jestel. Mit der trainierten KI ▶



Wie viel Nähe ist möglich? Prof. Elkmann und Magnus Hanses stellen auch die Sicherheitsfrage bei der Mensch-Roboter-Kollaboration ins Zentrum ihrer Forschung am Fraunhofer IFF.

Prof. Norbert Elkmann mit Assistenzroboter ANNIE.

Der Care-o-Bot® wurde am Fraunhofer IFF als Serviceroboter entwickelt.



Damit Großfahrzeuge autonom unterwegs sein können, werden im Fraunhofer IOSB die nötigen Sensortechnologien und Algorithmen entwickelt.



Dr.-Ing. Janko Petereit macht am Fraunhofer IOSB Großfahrzeuge fit für die autonome Arbeit in menschenfeindlichen Umgebungen.

Was sieht der Roboter?
Erkundung des
Geländes mit Sensoren
und optischen Kameras.



ausgerüstet, können die RoboMaster dann in der realen Welt Richtungsentscheidungen dezentral und autonom auf der Basis der Umgebungswahrnehmung mittels Laserscanner treffen. Auch dieser Trainingsansatz könnte schon bald die Logistikbranche verändern. »Mitunter bekomme ich zu hören, der RoboMaster sei ja nur ein Spielzeug«, sagt Jestel. »Doch bei diesem Projekt geht es nicht um das Fahrzeug selbst, sondern um die Idee dahinter. Und die hat Transformationspotenzial für eine Vielzahl von Anwendungen für industrielle mobile Roboter.«

»Um ein intelligentes Gesamtsystem zu entwickeln, ist Expertise aus vielen Fachbereichen gefragt.«

Dr.-Ing. Janko Petereit,
Fraunhofer IOSB

Intelligenz zum Andocken

Dank Künstlicher Intelligenz emanzipiert sich der Roboter immer mehr vom Menschen. Die Einsatzmöglichkeiten für seinesgleichen sind – Stand heute – noch nicht abzuschätzen, doch gerade das fasziniert Informatiker Sebastian Hoose an der Thematik: »Alles ist so superschön kompliziert, immer wieder neu und anders spannend.« Um den Technologie-Sprung auch kleinen und mittelständischen Unternehmen zu ermöglichen, forscht der wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer IML an einer Software, die möglichst generisch trainiert und verwendet werden kann. »RAI – Remote AI« ist so etwas wie eine KI zum Mitnehmen: Künstliche Intelligenz in einer Box, mit deren Hilfe sich herkömmliche Transportfahrzeuge

nach dem Plug-and-Play-Prinzip schnell und einfach autonomisieren und mit speziellen Fähigkeiten aufwerten lassen. Die Algorithmen der KI-Box ermöglichen es dem Roboter, sich in definierten Räumen fortzubewegen und Transportaufgaben zu übernehmen. Ein weiterer Vorteil des Remote-Ansatzes: Der Lernerfolg einzelner Fahrzeuge kann problemlos anderen Robotern oder gar einer gesamten Roboter-Flotte zur Verfügung gestellt werden.

Aufrüsten statt Neuanschaffung: »RAI macht die Technologie für KMU ökonomisch interessant«, urteilt Sebastian Hoose. Als ein Zusatzmodul besitze die KI-Box eine gewisse Brückenfunktion zwischen herkömmlicher und KI-basierter Robotik. Limitiert wird der Remote-Ansatz noch durch die Herausforderung, dass aktuell jeder Transportroboter je nach Hersteller eine andere Schnittstelle aufweist, was ein simples Andocken der Box verhindert. »Wir haben deshalb von RAI-Seite aus einen Standard entwickelt«, erklärt Hoose. Nun müsse man bei der Installation lediglich ein kleines Code-Stück implementieren, »darum kommen wir nicht herum, solange es keine Industriestandards gibt«.

Roboter auf gefährlicher Mission

KI-basierte Robotik ist einerseits interessant für jene Wirtschaftszweige, die vom Fachkräftemangel bedroht sind und bestimmte Jobs gerne an Robotersysteme vergeben würden. Auf der anderen Seite gibt es aber auch die Aufgaben, deren Bewältigung für den Menschen zu schwierig, zu belastend oder zu gefährlich sind: Tätigkeiten etwa in Krisen- und Katastrophengebieten, auf Deponien, bei der Bergung von Altlasten oder auf vermintem Gelände. Intelligente Robotersysteme für menschenfeindliche Umgebungen zu entwickeln, hat sich das Kompetenzzentrum ROBDEKON auf die Fahne geschrieben. Es wurde 2018 vom BMBF ins Leben gerufen und mit rund 20 Millionen Euro gefördert; die Gesamtkoordination des Netzwerkes hat das Fraunhofer IOSB inne. Denn dort entwickeln Forschende schon länger unterschiedliche Basisfunktionalitäten, ►

die – ähnlich der KI-Box RAI – vorhandenen Robotersystemen und Fahrzeugen eine gewisse Autonomie und Intelligenz verleihen können.

»Wir beschäftigen uns mit wirklich großen Robotersystemen«, betont Dr.-Ing. Janko Petereit, Gruppenleiter Autonome Robotersysteme am Fraunhofer IOSB und zugleich ROBDEKON-Koordinator. Im Zentrum stehen beispielsweise Bagger, die ganz ohne Bediener Gefahrstoffe bergen oder kontaminierte Bodenschichten abtragen können. Petereit: »Dank verschiedener intelligenter Algorithmen für die Lokalisierung und Kartierung sowie Hinderniserkennung und Bewegungsplanung können sich die Robotersysteme selbstständig auch auf unbekanntem Gelände bewegen und Aufgaben erfüllen. Das erhöht die Effizienz, entlastet Fachkräfte und kann vor allem Unfall- und Gesundheitsrisiken bei Einsätzen in schwer zugänglichen oder gefährlichen Umgebungen verringern.«

Wie gut dies bereits funktioniert, demonstrierte Fraunhofer-Forscher Petereit im Mai beim BMBF-Innovationsforum in Berlin: Interessierte konnten hier dem im rund 500 Kilometer entfernten Karlsruhe stehenden 24-Tonnen-Bagger ALICE Aufträge erteilen, zum Beispiel die Bergung von potenziell kontaminierten Fässern. ALICE führte diese dann dank KI-basierter Wahrnehmung und Interpretation der Umgebung vollkommen eigenständig aus.

Faszination für viele Fachbereiche

Was viele Fraunhofer-Forschende am Thema KI-basierte Robotik fasziniert, ist dessen Interdisziplinarität: »Um ein intelligentes Gesamtsystem zu entwickeln, ist Expertise aus vielen Fachbereichen gefragt«, erklärt Janko Petereit. Und zwar nicht nur aus Gebieten wie Informatik, Elektrotechnik oder Mechatronik, sondern auch aus der Psychologie, den Rechtswissenschaften und der Ethik. Denn intelligente, oftmals bereits sprachfähige Roboter, die uns immer häufiger am Arbeitsplatz, im privaten Umfeld und auch im öffentlichen Raum begegnen werden, verändern die Art und Weise,

wie wir auf Hightech-Geräte blicken, sie wahrnehmen und mit ihnen interagieren. Je humanoider sie aussehen, desto eher tendieren wir beispielsweise dazu, Robotern nicht nur Intelligenz, sondern auch menschliche Eigenschaften und Emotionen zuzuschreiben. Als im Juni 2024 in der südkoreanischen Stadt Gumi ein Serviceroboter erst lange um eine Stelle kreiste und sich dann eine mehr als zwei Meter hohe Treppe hinabstürzte, entstanden sofort Theorien, inwiefern das technische Versagen ein maschineller

Auch die Motivation
des Roboters muss für
den Menschen
ersichtlich sein, um
dessen Tun zu
akzeptieren: Warum
ist das Gerät hier und
jetzt unterwegs, was
ist seine Aufgabe?

Selina Layer, Fraunhofer IAO

Suizid aufgrund von Arbeitsüberlastung gewesen sei.

Selina Layer hat das noch relativ junge Fach Ingenieurpsychologie studiert und forscht nun als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IAO an den Hintergründen und der Optimierung der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Im Projekt NIKA (Nutzerzentrierte Interaktionsgestaltung für kontextsensitive und akzeptable Roboter) beschäftigte sie sich im Rahmen ihrer Bachelorarbeit mit der Frage, was ein Roboter können und wie er sich verhalten muss, um auch von älteren Menschen akzeptiert zu werden und diesen einen Mehrwert zu bieten. Die Ergebnisse des Projekts wurden in Form von »Interaktionsmustern« in einer sogenannten »Pattern«-Bibliothek gespeichert – einer Sammlung, die auf Forschungsarbeiten

von Dr. Kathrin Pollmann vom Fraunhofer IAO zurückgeht und langfristig dabei helfen soll, je nach User und Situation die passende Verhaltensweise für den Roboter auszuwählen und an diesen zu übermitteln. Layer: »Die Pattern-Bibliothek soll heranwachsen zu einer Art Grundlage für die Gestaltung sozialer Interaktionen zwischen Mensch und Maschine.«

Im Zentrum des aktuellen Forschungsprojekts von Selina Layer stehen drei Serviceroboter, die nicht im häuslichen Umfeld, sondern im öffentlichen Raum tätig sein sollen – etwa bei der Straßenreinigung oder als Transportroboter. Derzeit, so Layer, sind derartige Maschinen vor allem nachts in industriellen Produktionshallen im Einsatz sein, also zu Zeiten, in denen ihnen nur wenige Personen begegnen. Trotzdem müssen sowohl Roboter als auch Menschen auf diese Begegnungen vorbereitet werden. »Erste Studien innerhalb unseres Projekts ZEN-MRI haben beispielsweise gezeigt, dass Passanten nicht so gut antizipieren können, wie und wohin sich eine Maschine als nächstes bewegt«, erklärt Selina Layer. Gerade wenn Menschen abgelenkt sind, etwa durch Unterhaltungen oder durch den Blick aufs Handy, steige die Gefahr einer »ungeplanten Annäherung«. Layer: »Um Kollisionen zu vermeiden, muss der Roboter dann stärker auf sich aufmerksam machen – aber zugleich so, dass er nicht als akustische Belästigung empfunden wird.«

Auch die Motivation des Roboters muss für den Menschen ersichtlich sein, um dessen Tun – gerade in den Anfangsjahren einer wachsenden »Roboterisierung« unserer Welt – zu akzeptieren: Warum ist das Gerät hier und jetzt unterwegs, was ist seine Aufgabe? »Wenn nicht etwa durch Informationstafeln am Ort oder Aufkleber am Roboter klar ersichtlich ist, welche gesellschaftlich relevanten Jobs dieser übernimmt, steigt die Wahrscheinlichkeit von Angriffen auf das Gerät bis hin zur Sachbeschädigung«, erklärt Layer.

Befragungen im Rahmen von ZEN-MRI haben unter anderem ergeben, dass 73 Prozent der Probanden befürchten, bei Stürzen etwa nach Kollision mit einem Roboter

verletzt zu werden. Knapp jeder Zweite ist besorgt wegen möglicher Sicherheitslücken durch Störungen der Hard- oder Software des Geräts, beinahe jeder Dritte sieht den Roboter als potenzielles Hindernis an. Solche Ängste und Wahrnehmungen begünstigen das sogenannte Robot-Bullying, also tätliche Angriffe auf das Gerät.

Niedlich – aber bitte nicht zu niedlich

Um derlei zu unterbinden und dem Menschen die Interaktion zu erleichtern, wurde beispielsweise die KI-Box RAI des Fraunhofer IML mit zwei stilisierten Augen versehen sowie zwei Lautsprechern links und rechts des Kastens, die wie Ohren aussehen. Dem evoBOT® verleihen zwei Punkte, die entfernt an Augen erinnern, ein niedliches, leicht menschliches Aussehen. »Das freundliche Design hat die Funktion, die Hemmschwelle für die Interaktion mit dem Roboter zu senken«, sagt Forscher Leon Siebel-Achenbach. »Das haben wir mit dem Design besser erreicht als erwartet. Obwohl es sich um einen Prototyp handelt, der noch einige Entwicklungszyklen durchlaufen muss, um ihn für die sichere Interaktion mit dem Menschen fertigzustellen, sind wir überrascht, wie offen die Menschen auf den Roboter zugehen.« Bei den mobilen Reinigungsgeräten, die bei ZEN-MRI zum Einsatz kommen, wurde bewusst auf ein humanoides oder tierähnliches Äußeres verzichtet, um jegliche unterschwellige Aufforderung zur Interaktion zu vermeiden.

»Gerade weil Roboter momentan noch nicht so etabliert sind im Alltag der Menschen, finde ich die Forschung in diesem Bereich so spannend und wertvoll«, erklärt Selina Layer. »Es geht um die Gestaltung von Standards: Wie werden wir künftig mit Robotern kommunizieren – und wie sie mit uns?«

Eine Frage der Sicherheit

Industrieroboter agieren immer noch vorwiegend hinter Schutzgittern. Bei Cobots, die ohne Schutzzaun zum Einsatz

kommen können, spielt das Thema der Personensicherheit und Sicherheitszertifizierung eine sehr wichtige Rolle. Doch mit intelligenten AMR, also autonomen mobilen Robotern, und humanoiden Robotern wird eine neue Stufe der Sicherheitsbewertung und deren Anforderungen erreicht. »Die Sicherheitsfrage hat sich de facto als einer der wichtigsten Herausforderungen für die Kollaboration von Mensch und Roboter im gemeinsamen Arbeitsraum erwiesen«, erklärt Prof. Norbert Elkmann vom Fraunhofer IFF. »Sie ist

»Die Erwartungshaltung der Wirtschaft wie der Menschen überhaupt hinsichtlich intelligenter und möglicherweise auch humanoider Roboter ist hoch, manchmal auch stark überhöht.«

Norbert Elkmann,
Fraunhofer IFF

ein wesentlicher Grund, warum sich die Hoffnungen der Industrie auf eine schnelle Implementierung von Robotern und Cobots in der Produktion nicht in dem Maße erfüllt haben.«

In einer Studie von 2018 wurde beispielsweise vom Weltwirtschaftsforum prognostiziert, dass im Jahr 2025 gut 52 Prozent und damit die Mehrheit aller Arbeitsstunden von Robotern erledigt werden. Davon, so Elkmann, sind wir aktuell noch weit entfernt – auch weil der Planungs- und Umsetzungsaufwand sowie der Prozess zur CE-Kennzeichnung für Anwendungen mit Mensch-Roboter-Kollaboration oftmals sehr aufwendig ist. Für mobile Roboter entstehen ganz neue Herausforderungen: die Aktionen und Szenarien des Zusammentreffens von Mensch und Roboter sind viel weniger planbar als

bei stationären Robotern. Das Fraunhofer IFF verfolgt daher einen neuen Ansatz: Jede Aktion eines Roboters wird einer digitalen Risikoanalyse unterzogen und dann mit einem CE-Kennzeichen versehen. »KI-gestützte Robotik, die ihre Bewegungen selbstständig plant und ausführt, steht diametral den heutigen Sicherheits- und Zertifizierungsprinzipien entgegen, die von deterministischen Systemen ausgehen«, erläutert Elkmann. »Aber wir werden auch das lösen.«

Das Fraunhofer IFF erstellt Sicherheitsstandards für die Mensch-Roboter-Kooperation, die sich weltweit in Normen niederschlagen. Beispielsweise haben Forscher des Instituts eine Versuchseinrichtung mit einem Pendel entwickelt, die – mit Zustimmung der Ethikkommission – Kollisionsversuche mit Versuchspersonen ermöglicht, um die sogenannte Schmerzschwelle zu ermitteln: Ab wann tut eine Kollision an welchen Körperstellen weh? Die in derlei Studien ermittelten Belastungswerte für Kraft, Druck und Stoßenergie lassen sich dann in verifizierte Grenzwerte überführen, die von essenziellem Nutzen für die Gestaltung einer sicheren Mensch-Roboter-Kollaboration sind. Die Resultate aus der Studie bilden heute den Stand der Technik weltweit ab. Zudem ermöglichen die Daten eine sehr präzise simulative Abbildung von Berührungen zwischen Mensch und Roboter. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass sich künftig KI-gesteuerte Roboter so bewegen, dass der Mensch im Kontaktfall nicht zu Schaden kommt.

»Die Erwartungshaltung der Wirtschaft wie der Menschen überhaupt hinsichtlich intelligenter und möglicherweise auch humanoider Roboter ist hoch, manchmal auch – bedingt durch die neuen Entwicklungen aus den USA – stark überhöht«, bilanziert Norbert Elkmann. »Die Robotik-Entwickler haben noch einige grundsätzliche Aufgaben vor sich, bis wirklich flexibel und ökonomisch sinnvoll einsetzbare Produkte auf den Markt kommen. Die Sicherheitsfragen sind zusätzlich zu lösen. Diese Entwicklung zu begleiten und mitzugestalten, macht sehr viel Spaß.« ■

3x3 Fragen: KI-Robotik

Dr. José Saenz

Gruppenleiter Assistenz-, Service- und Industrieroboter am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF



»Wir sind weit davon entfernt, Roboter als Generalisten zu sehen.«

1 Was ist Ihres Erachtens das größte Missverständnis über humanoide Roboter in der Gesellschaft?

Dass sie sehr bald so leistungsstark und vielseitig sein werden, wie wir sie aus Science-Fiction-Filmen kennen, und das zu einem erschwinglichen Preis. Roboter werden zwar immer leistungsfähiger und können schneller und kostengünstiger eingesetzt werden. Trotzdem sind wir weit davon entfernt, Roboter als Generalisten zu sehen, genauso wie es keine allgemeine KI gibt.

2 Wenn Sie gedanklich ins Jahr 2050 springen: Welche Rolle werden humanoide Roboter da womöglich in der Produktion und im Privatbereich ausüben?

Humanoide Roboter werden zunächst bei Aufgaben eingebunden, bei denen ihre Vorteile die hohen Kosten ausgleichen. Dazu zähle ich Tätigkeiten in Umgebungen, in denen gefährliche Umwelt- und Arbeitsbedingungen herrschen, bei denen es sich nicht lohnt, ein aufgabenspezifisches System zu entwickeln, oder für die es nicht ausreichend qualifiziertes Personal gibt. Beispiele sind Serviceaufgaben wie Montage und Wartung von Offshore-Windkraftträdern sowie Einsätze in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, jedoch nicht in privaten Haushalten.

3 Was müsste ein Roboter, den Sie privat gerne besitzen würden, beherrschen?

Neben klassischen Aufgaben wie Waschen, Bügeln und Putzen sollte mein Roboter für zu Hause auch anspruchsvollere Aufgaben wie Wäsche sortieren (bitte meine Wollpullis nicht ruinieren), in der Hecke verlorener Badmintonbälle finden (ohne dabei die Hecke zu zerstören) oder verstopfte Abflüsse frei machen. Dabei soll der Roboter so wenig Platz wie möglich benötigen. Das Letzte, was ich will, ist ein Roboter, der mir ständig im Weg steht, wenn ich zu Hause bin. ■

Florian Steinlehner

Hauptabteilungsleiter Additive Fertigung, Automatisierungstechnik und Energiespeicher, Digitalisierung und KI in der Produktion am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV



»Ich hoffe, dass Roboter Teil der Lösung des Fach- und Arbeitskräftemangels sein werden.«

1 Was ist Ihres Erachtens das größte Missverständnis über humanoide Roboter in der Gesellschaft?

Humanoide Roboter können durch ihr menschenähnliches Erscheinungsbild den Eindruck von menschlicher Intelligenz, Emotionen oder einem Bewusstsein hervorrufen. Dies kann zu überhöhten Erwartungen und Ängsten führen. Aus meiner Sicht basiert die humanoide Erscheinung jedoch immer auf Algorithmen und Daten. Menschen werden durch Roboter nicht ersetzt. Sie übernehmen vielmehr Aufgaben, die für den Menschen zu gefährlich oder gesundheitsschädlich sind.

2 Wenn Sie gedanklich ins Jahr 2050 springen: Welche Rolle werden humanoide Roboter da womöglich in der Produktion und im Privatbereich ausüben?

Ich hoffe, dass (humanoide) Roboter als flexible Arbeitskräfte Teil der Lösung des Fach- und Arbeitskräftemangels sein werden. Zusätzlich zu komplexen Spezialaufgaben können humanoide Roboter durch ihre Anpassungsfähigkeit eng mit dem Menschen zusammenarbeiten und die Produktivität steigern. Im privaten Bereich werden Roboter als lernfähige Assistenten in einer für den Menschen ausgelegten Umgebung eine zentrale Rolle einnehmen, indem sie im Haushalt und bei der personalisierten Gesundheitsvorsorge entlasten.

3 Was müsste ein Roboter, den Sie privat gerne besitzen würden, beherrschen?

Für mich sollte ein Roboter multifunktionale Aufgaben flexibel und anpassbar übernehmen können. Der Einsatz als persönlicher Assistent wäre in allen Lebenslagen sehr hilfreich. Dazu gehören für mich Routineaufgaben in der Haushaltsführung und -organisation ebenso wie die Unterstützung bei der Terminplanung und der Gesundheitsüberwachung. Gleichzeitig sollte der Roboter als Schnittstelle zu den immer intelligenter werdenden technischen Geräten im Haushalt fungieren. ■

Dr.-Ing. Martin Feistle

Experte für Künstliche Intelligenz in der Produktion am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV



»Es ist nicht notwendig, dass Industrieroboter ein menschliches Äußeres haben.«

1 Was ist Ihres Erachtens das größte Missverständnis über humanoide Roboter in der Gesellschaft?

Das größte Missverständnis ist die Annahme, dass intelligente Roboter unabhängig von ihrer Bauart hochspezi-fische Aufgaben mit gesellschaftlichem Bezug oder auch Entscheidungen von Schlüsselpersonen übernehmen könnten. Im Speziellen ist das Missverständnis weit verbreitet, dass humanoide Roboter uneingeschränkt Alltagsaufgaben, etwa das Führen eines Kfz, ausführen könnten. Ihr menschliches Aussehen und ihre Fähigkeit zum Handeln befähigen diese nicht zur vollumfänglichen Durchführung von menschbezogenen Aufgaben.

2 Wenn Sie gedanklich ins Jahr 2050 springen: Welche Rolle werden humanoide Roboter da womöglich in der Produktion und im Privatbereich ausüben?

Humanoider Roboter, gepaart mit einer Künstlichen Intelligenz, könnten uns als Diskussionspartner gegenüberstehen, um Entscheidungen abzuwägen. Die Integration von Humanoiden in die eigentliche Produktion hingegen schätze ich als gering ein, da es nicht notwendig ist, dass Industrieroboter ein menschliches Äußeres haben. Im privaten Umfeld wird ein Humanoid zukünftig möglicherweise als Kontaktperson angesehen, welche zugleich immer wiederkehrende Aufgaben übernimmt.

3 Was müsste ein Roboter, den Sie privat gerne besitzen würden, beherrschen?

Solch ein humanoider Roboter muss zwingend wie ein Mensch agieren. Darüber hinaus sind alltägliche To-dos selbstständig zu identifizieren und situationsbedingt abzuarbeiten, wie etwa das Wegräumen eines benutzten Glases. Ein Humanoid muss durch Gestik, Mimik und Stimmlage seines Gegenübers entscheiden können, in welcher Stimmung dieses sich befindet und sich zurückziehen oder gezielt ins Spiel bringen. Nur so können Zusammenleben und Akzeptanz vollumfassend erfolgen. ■



Mensch oder Roboter? Das ist nicht die Frage. Die Fraunhofer-Institute (Foto: Leon Siebel-Achenbach vom Fraunhofer IML) entwickeln Lösungen für das Zusammenspiel von Mensch und Technik.

Was die Roboter am Fraunhofer IPA bei Nacht so machen, sehen Sie hier im Video.



Ein Bild von einem Apfel

Deutschlands Obstbauern leiden – unter den Folgen des Klimawandels und steigenden Produktionskosten. Wie lässt sich die Zukunft der Apfelerzeugung wirtschaftlicher und nachhaltiger gestalten?

Von Beate Strobel

Äpfel, so weit das Auge reicht: Wer im Herbst durch die Reihen der Obstplantagen im Alten Land geht, sieht Äste, die sich zu Boden neigen unter den reifen Früchten. Alles gut im Apfelparadies Deutschland? Leider nein. »Der Obstbau muss digitalisiert werden«, urteilt Mechatronik-Ingenieur Frederick Blome, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Stade. Denn: »Mithilfe von KI und smarten Tools können Obstbauern selbst in Zeiten klimatischer Veränderungen die Erträge weiter erhöhen und zugleich wertvolle Ressourcen wie Wasser und Pflanzenschutzmittel effizienter einsetzen.«

Der Apfel ist das Lieblingsobst der Deutschen, mehr als 24 Kilogramm verzehrt jeder und jede pro Jahr. Entsprechend der Nachfrage haben sich die Hauptanbaugebiete hierzulande – allen voran das Alte Land zwischen Stade und Hamburg sowie die Region Bodensee – in den vergangenen 50 Jahren deutlich professionalisiert: von Obstwiesen mit hohen und damit arbeitsintensiven Bäumen hin zu Plantagen, in denen auf derselben Fläche nun bis zu 20 Mal so viele Bäume stehen, deren Stämme deutlich kürzer und deren Kronen kleiner sind, sodass die Äpfel leichter geerntet werden können.

Nun aber bereiten die klimatischen Veränderungen den Obstbauern zwischen Elbe und Bodensee große Sorgen. Aufgrund höherer Durchschnittstemperaturen blühen die Apfelbäume im Alten Land rund drei Wochen früher als noch Mitte der 1970er-Jahre. Das erhöht das Risiko, dass die zarten Blüten durch Spätfrost wieder vernichtet werden. Die Qualität der Äpfel leidet unter längeren Trockenheitsphasen, sodass die Apfelbauern zuneh-

»Der Obstbau muss digitalisiert werden.«

Frederick Blome,
Fraunhofer IFAM

Unser Obstlieblich:
In Deutschland werden
gut 30 Apfelsorten auf
rund 33 100 Hektar
angebaut.





Mehr als
24 kg
Äpfel
 verzehrt jeder
 Deutsche pro
 Jahr.

Foto: Max Faber/plainpicture

mend auf Bewässerungstechnologien angewiesen sind. Heißere Sommer begünstigen zudem Schädlinge wie den Apfelwickler, dessen Larve im Apfelinneren heranwächst und die Frucht unverkäuflich macht. Aber auch neue Schadinsekten wie die aus Asien stammende Marmorierete Baumwanze werden dank wärmerer Temperaturen zunehmend in Deutschland heimisch.

Verstehen, was jeder Baum braucht

All diese ungunstigen Entwicklungen erfordern neue Antworten. Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und koordiniert vom Fraunhofer IFAM erarbeiten Forscherinnen und Forscher seit 2023 im Verbundprojekt SAMSON (»Smarte Automatisierungssysteme und -services für den Obstanbau an der Niederelbe«) Hightech-Lösungen, die dem Obstbau die digitale Transformation erleichtern sollen. Die Erhebung und Analyse saisonaler Anbau- und Erntedaten könnte die Obstbauern demnächst dabei unterstützen, die Wechselbeziehungen zwischen Faktoren wie Klima, Wetterereignissen, Wassereinsatz, Bodenpflege, Blüte und Vorjahresertrag besser zu verstehen und entsprechend reagieren zu können.

Dafür werden erst einmal über das Jahr hinweg möglichst viele Daten gesammelt. Seit März fährt in regelmäßigen Abständen ein Traktor entlang der Apfelbaum-Spaliere eines Experimentierfelds im Alten Land, an dessen Frontseite eine Sensorbox befestigt ist. Eine solche Hightech-Box – gefüllt mit Stereokameras, einem LiDAR-Sensor zur Tiefenmessung sowie Messeinheiten für kleinste Bewegungen und hochpräzise Lokalisierung – soll künftig den Obstbauern bei Routinetätigkeiten in der Plantage begleiten und dabei automatisiert sowie kontinuierlich jede Menge Daten über die Bäume sammeln. Diese Daten werden von der Künstlichen Intelligenz verarbeitet. Die KI erfasst etwa das Wachstum der Bäume, die Blühstärke, die Anzahl der Äpfel und einen möglichen Schädlingsbefall. Blome: »Detektiert die KI dann etwa Schadinsekten an einem Baum, muss der Betriebsleiter nicht mehr – wie bisher – Pflanzenschutzmaßnahmen an allen Bäumen in diesem Schlag durchführen, sondern kann gezielt nur die befallenen Bäume behandeln. Das reduziert den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.« Ähnlich bei der Anzahl der Blütenbüschel am Baum: Bislang werden die Blüten pauschal im Frühjahr chemisch reduziert. Dadurch kommt es vor, dass an manchen Bäumen zu viele oder zu wenige Blüten zerstört werden, was in der Folge entweder die Ernte verringert oder aber zu viele Äpfel von geringer Qualität und Größe heranwachsen lässt. Eine indivi- ►



duell ermittelte ideale Blütenzahl je Baum ermöglicht hingegen eine gezielte chemische Ausdünnung, spart so Ressourcen sowie bares Geld und optimiert den Ertrag.

Der digitale Plantagen-Zwilling

Über die Einzelmaßnahmen hinaus dient die Datenerhebung im großen Stil auch dazu, ein digitales Abbild der Plantage zu erstellen. Aus der langfristigen Beobachtung von Baum und Früchten können dann gezielt Maßnahmen für die optimale Pflege abgeleitet werden. Der technische Aufwand rechnet sich, denn Apfelbäume zeichnen sich durch sehr lange Standzeiten aus: In der Regel werden sie erst nach zwei Jahrzehnten durch jüngere Pflanzen ersetzt.

Auch die Entwicklung automatisierter Wassermanagement- und Frostschutzsysteme sowie die Etablierung eines Wetterstationen-Netzes für das Alte Land sind Pro-

jektteile von SAMSON. Blome: »Wir wollen einerseits präzise Vorhersagemodelle entwickeln und dem Obstbauer entsprechende Handlungsempfehlungen geben, andererseits aber auch die Automatisierung im Anbau vorantreiben.« Eine Vernetzung der Pumpen mit einem smarten Farm-Managementsystem soll beispielsweise dabei helfen, die Bewässerung der Felder automatisch dem tatsächlichen Bedarf anzupassen. Das intelligente System warnt auch frühzeitig die Betriebsleitung vor Frostgefahr.

Bauernkalender und Bauchgefühl? Von derlei Traditionen haben sich die Obstanbaubetriebe längst verabschiedet. Smarte Technologien ermöglichen ihnen stattdessen eine nachhaltige Präzisionsbewirtschaftung ihrer Plantagen. Und so werden die Ergebnisse von SAMSON, lobte Bundeslandwirtschaftsminister Cem Özdemir bereits, nicht nur den deutschen Obstbauern und Obstbäuerinnen weiterhelfen, sondern auch international von großem Interesse sein. ■

Die im Rahmen von SAMSON entwickelte Sensorbox zur Datenaufnahme und -verarbeitung in Obstplantagen lässt sich an jedem Schlepper befestigen.



Hot oder Schrott?

Deutschland braucht Antimon für Autobatterien, Solarmodule und militärische Ausrüstung. Jetzt plant China, mit einer Exportkontrolle die Verfügbarkeit des Halbmetalls um beinahe die Hälfte zu reduzieren. Eine bereits patentierte Lösung hat das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS gemeinsam mit einem Industriepartner erarbeitet.

Von Yvonne Weiß

Farbe? Silbergrau. Relevanz für die Industrie? Hoch. Zugang? In Gefahr. Antimon ist ein entscheidender Bestandteil vieler Produkte, etwa in Halbleitern, militärischer Ausrüstung wie Nachtsichtgeräten oder Autobatterien. Daher zählt das Halbmetall etwa in der Europäischen Union und den USA zu den sogenannten kritischen Rohstoffen: Materialien von entscheidender wirtschaftlicher Bedeutung, für die das Risiko eines Versorgungsengpasses hoch ist.

Da Antimon vor allem in chinesischen Minen vorkommt, ist der Zugang zum Edelmetall nun in Gefahr. Der Grund: China möchte den Export von Antimon drastisch einschränken. Die Verfügbarkeit des Halbmetalls? Könnte so weltweit um etwa 40 Prozent abnehmen.

Eine Lösung für die Industrie erarbeitet das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS gemeinsam mit dem Industriepartner GEM Recovery Systems GRS. Die Forschenden entwickeln dafür eine sensorbasierte Sortiertechnologie, mit deren Hilfe sich das Halbmetall im Bergbau identifizieren lässt. »Antimon tritt als Nebenprodukt auf, etwa in Goldminen«, erklärt Alexander Ennen. Der Abteilungsleiter und Experte für Rohstoff, Produktentwicklung und Recycling am Fraunhofer IIS beschreibt den Ansatz: »Mittels Röntgentechnologie möchten wir den Stoff von anderen Gesteinen isolieren – und dabei im Vergleich zum herkömmlichen Abbau Ressourcen wie Wasser und Energie einsparen.«

Sensoren helfen, Gesteine zu sortieren

Die Idee: Ein Hochgeschwindigkeitsförderband transportiert das unsortierte Gestein, das von einem Multi-Energie-Röntgensensor durchleuchtet wird. Dieser spezielle Sensor erfasst Daten, um Informationen über die Eigenschaften des Erzes zu gewinnen. Bildverarbeitungsmethoden analysieren und klassifizieren die Informationen anschließend. So lässt sich herausfinden, ob ein bestimmter Partikel das gewünschte Material enthält – Antimon zum Beispiel. Auf Basis der gesammelten Daten wird die Sortierung angestoßen: Spezielle Ventile trennen das Gestein, wobei eine Luftdüse unerwünschtes Material vom Band entfernt.



»Die neue Technologie ermöglicht es, Abfall von Zielmineralen zu trennen und ein sogenanntes Superkonzentrat zu erzeugen«, erklärt Roy Spencer von GRS. Laut dem Geologen wird im Anschluss lediglich dieses Konzentrat an eine stark reduzierte konventionelle Aufbereitungsanlage geschickt. Das Materialvolumen reduziert sich so erheblich – und damit auch der Wasser- und Energieverbrauch sowie die gesamten Investitionskosten. Spencer: »Die internationale Integration der Technologie könnte ein Wendepunkt sein für die Materialverarbeitungsindustrie.«

Erste Labortests haben bereits gezeigt, dass sich Antimon zuverlässig erkennen lässt, Versuche mit größeren Materialmengen stehen nun an. Anschließend könnte die Technologie in jeder Mine zum Einsatz kommen, wo Antimon natürlicherweise vorkommt – also auch außerhalb Chinas. Das südafrikanische Mopani gilt etwa als eines der attraktivsten, bisher ungenutzten Antimonvorkommen der westlichen Welt. Kleinere Vorkommen gibt es auch in Deutschland, Schweden, Australien. Ennen: »Unsere sensorbasierte Technologie kann beim Abbau des Gesteins unterstützen – und so nicht nur Minen rentabler machen, sondern auch Fördermengen und Verfügbarkeit wichtiger Stoffe wie Antimon stabilisieren.« ■

Das silbergraue Halbmetall Antimon kommt als Nebenprodukt in Goldminen vor.

Die Sonnenwende

Die Ausbauziele im Bereich Solartechnik rücken in den realistischen Bereich, werden vielleicht gar übertroffen. Dennoch bleibt viel zu tun.

Von Dr. Janine van Ackeren

Deutschland ist Spitzenreiter der europäischen Solarenergie-Liga: Allein von Januar bis Ende Mai 2024 wurden 6,2 Gigawatt installiert, mittlerweile liegt die Kapazität der Photovoltaik-(PV)-Anlagen bei 89 Gigawatt. Platz zwei belegt das sonnenreiche Spanien – mit lediglich 31 Gigawatt (Stand Ende 2023). Wurden die Ausbauziele der Bundesregierung anfangs als eher überzogen angesehen, erscheint das Ziel von 215 Gigawatt im Jahr 2030 angesichts der derzeitigen Entwicklung realistisch. Prof. Andreas W. Bett, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg, konstatiert zufrieden: »Was die Installation von PV-Anlagen angeht, sehe ich die Entwicklung extrem positiv – wir sind auf einem guten Weg, die Zielvorgabe zu erreichen.« ▶

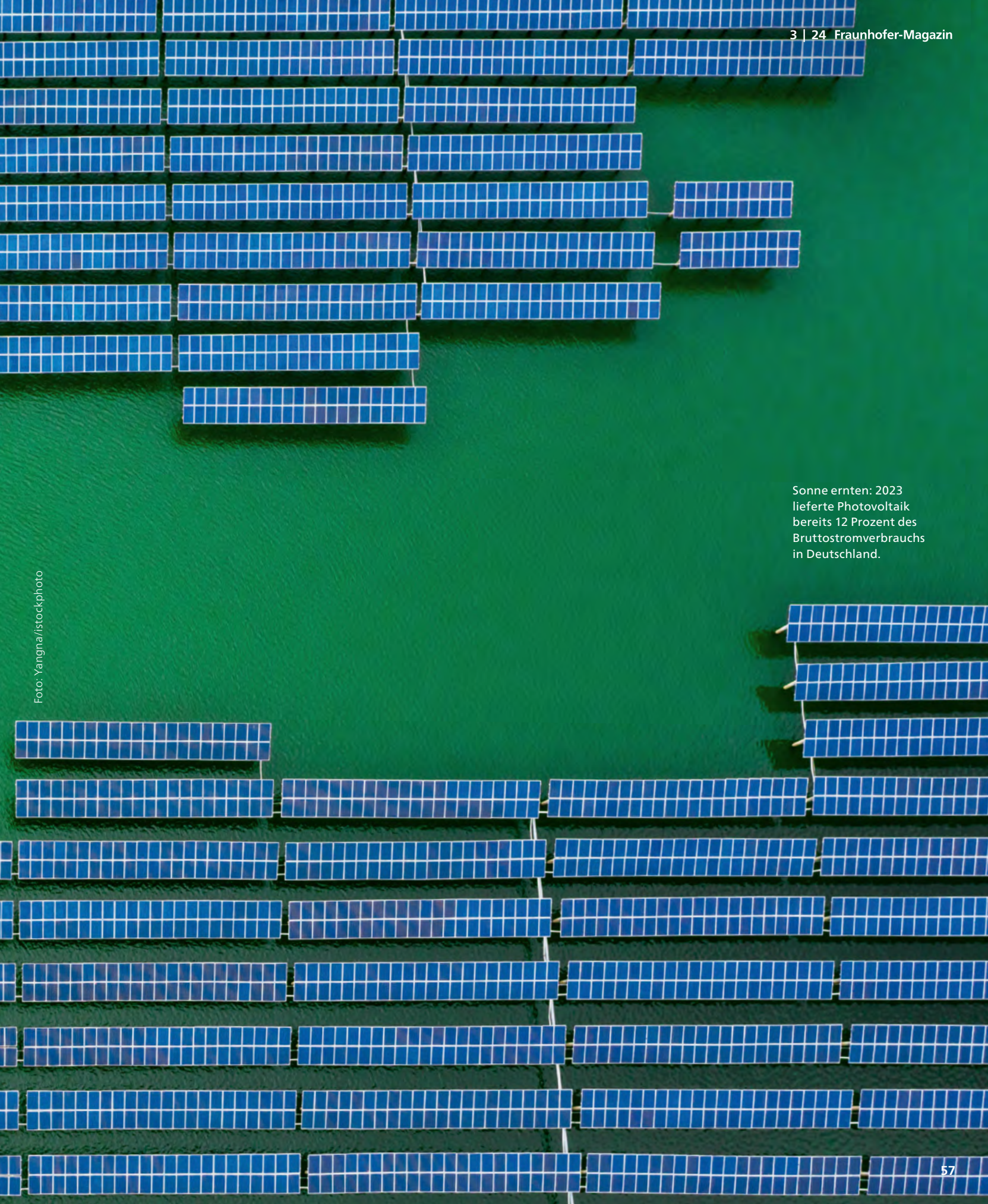


Foto: Yangna/istockphoto

Sonne ernten: 2023
lieferte Photovoltaik
bereits 12 Prozent des
Bruttostromverbrauchs
in Deutschland.

Befeuert wird diese positive Entwicklung durch den Faktor Geld: Die Kosten für die Module sanken zwischen 2010 und 2020 in Deutschland um satte 90 Prozent, Tendenz weiter fallend. Auch können die Strom-Gestehungskosten aus den Sonnenkraftwerken mittlerweile durchaus mit denen fossiler Kraftwerke mithalten: Solarstrom aus großen Megawatt-Kraftwerken kostet etwa 5 bis 7 Cent pro Kilowattstunde, kleinere Dachanlagen kommen immerhin auf 11 bis 13 Cent pro Kilowattstunde. Zum Vergleich: Kohlestrom kostet 3 bis 7 Cent pro Kilowattstunde, Gasstrom 6 bis 9 – die Neutralisierung der Emissionen nicht mitgerechnet.

Das »Solarpaket I«, das am 16. Mai in Kraft getreten ist, soll das Ausbau-Tempo abermals steigern: Es vereinfacht die Installation von Balkonkraftwerken und Photovoltaikanlagen ebenso wie die Regelungen zum Mieterstrom. Beispielsweise dürfen Eigentümer und Vermieter ihren Mietern Balkonkraftwerke nun nur noch mit gutem Grund versagen – etwa, wenn die Kraftwerke die Bausubstanz gefährden würden.

Deutscher Rekord auch bei den Großanlagen

Bei den Großanlagen kann Deutschland ebenfalls mit einem Superlativ punkten. Südlich von Leipzig, wo sich zuvor Braunkohlebagger durch die Erde gruben, ging Anfang Juli 2024 der Solarpark Witznitz ans Netz. Mit 500 Hektar Fläche – das entspricht etwa 700 Fußballfeldern – und Spitzenleistungen von rund 650 Megawatt ist er der größte seiner Art in Europa. Schätzungen des Fraunhofer ISE zufolge können mit dieser Strommenge etwa 360 000 Menschen versorgt werden.

Doch diese positive Entwicklung, wie Institutsleiter Andreas W. Bett feststellt, ist nur eine Seite der Medaille. Auf der anderen Seite drohen mehrere Faktoren das hohe Fortschritts-tempo wieder auszubremsen. »Die PV-Technologie hängt weltweit zu 98 Prozent von China ab«, gibt Bett zu bedenken. »Dabei werden die chinesischen Module aktuell in Deutschland unter Herstellungskosten angeboten – eine Entwicklung, die weder nachhaltig noch gesund ist für den europäischen Wirtschaftsraum.« Gegensteuern soll der europäische Net-Zero Industry Act (NZIA), dem zufolge 40 Prozent der installierten Module in Europa produziert werden sollten. Doch obliegt die Umsetzung den einzelnen Staaten, was sich zum Beispiel in Deutschland aufgrund des aktuellen Haushaltsdefizits als schwierig erweist.

Gut steht Deutschland da bei der Evolution von Solarzellen und dem Erschließen neuer Standortmöglichkeiten. Hier ist das Fraunhofer ISE eine treibende

Kraft. »Die technologische Entwicklung vom Material bis zum Modul ist für uns eine wichtige Fragestellung. Wir arbeiten daran, die Wirkungsgrade der Module zu erhöhen, den Ressourcenbedarf zu senken und das Recycling der Module voranzubringen, Stichwort Life-Cycle-Assessment«, sagt Bett. Ein Erfolgsbeispiel aus dem Fraunhofer ISE ist die MorphoColor®-Technologie, deren Entwickler mit dem diesjährigen Joseph-von-Fraunhofer-Preis geehrt wurden. Inspiriert von der Farbschicht auf den Flügeln des Morphoschmetterlings sind mit dieser Technologie farbige Solarzellen herstellbar, die kaum noch als solche erkennbar sind. Auf diese Weise lassen sich die PV-Elemente sogar als stilvolle Fassadenelemente einsetzen.

Entsprechende Module werden im Labor entwickelt, müssen aber stets auch im realen Einsatz ihre Tauglichkeit beweisen. Forschende des Fraunhofer ISE sind daher seit 2023 immer wieder auf dem drei Hektar großen »Outdoor Performance Testfeld« in Mering anzutreffen, auf dem sie die Laboruntersuchungen um Messungen unter realen Wetterbedingungen erweitern. Das Areal ergänzt Testfelder des Fraunhofer ISE auf Gran Canaria und in der Wüste Negev in Israel. »Auf diese Weise können wir die Messungen aus unseren akkreditierten Laboren mit den realen Ergebnissen aus maritimem, aridem und mitteleuropäischem Klima abgleichen, theoretische Modellierungen verifizieren und PV-Module schneller charakterisieren als bisher«, sagt Bett. »Zudem helfen uns die Messungen, die Erträge und die Wirtschaftlichkeit präziser zu prognostizieren.«

Platz da?!

Es ist eng in Deutschland. Brachflächen, die sich für große Solarparks eignen, gibt es wenige. Forschende arbeiten daher an Varianten der Doppelnutzung: Solarmodule an Fassaden, in Lärmschutzwänden, auf Äckern und Feldern. Im Projekt PVwins entwickeln und untersuchen Forschende des Fraunhofer ISE Lärmschutzwände, die künftig an Kraftfahrstraßen und Bahngleisen neben ihrer eigentlichen Aufgabe auch Sonnenstrom erzeugen. Das Potenzial dieser Parallelfunktion ist groß, es liegt schätzungsweise bei etwa fünf Gigawatt. Der Fokus des Forscherteams liegt vor allem darin, schallabsorbierende und schalldämmende Module zu entwickeln und auf dem Testfeld zu erproben. Auch die sichere Verschaltung, die Wirtschaftlichkeit und umsetzbare Betreibermodelle stehen auf der To-do-Liste. Nach Projektende soll der Teststand Unternehmen für Messungen zur Verfügung stehen, um Bauvorhaben vorab im Kleinen zu prüfen.

Die Kosten für
Solarmodule
sanken
zwischen 2010
und 2020 in
Deutschland
um satte
90%.

Damit tatsächlich im Jahr 2030 eine Stromleistung von 215 Gigawatt von Solaranlagen in die deutschen Netze fließt, reicht allein eine Doppelnutzung bei den Lärmschutzwänden jedoch bei Weitem nicht aus. Auch Äcker und Felder sollten für PV erschlossen werden. Solarenergie ernten statt Lebensmittel? Tatsächlich ist beides möglich – auf derselben Fläche. Denn nicht alle Obst- und Gemüsesorten benötigen die volle Sonnendosis – bekommen die Pflanzen zu viel Sonne ab, stellen sie vielfach das Wachstum ein. Bett: »Kombinieren wir Photovoltaik und Landwirtschaft – man spricht dabei von Agri-PV –, haben wir eine Win-win-Situation: Der landwirtschaftliche Ertrag bleibt gleich, möglicherweise steigt er sogar, zudem lassen sich die Flächen zur Stromerzeugung nutzen.«

Weintrauben beispielsweise reifen aufgrund des wärmeren Klimas immer früher, in Baden musste die Traubenlese bereits um sechs Wochen vorverlegt werden. Die höheren Temperaturen gehen zudem mit vermehrtem Schädlingsbefall und Ertragseinbußen einher. Können Photovoltaik-Module über den Reben für eine gewisse Verschattung sorgen und so die Weinstöcke vor den Folgen des Klimawandels schützen? Dies wird in Munzingen am Tuniberg im Projekt VinoPV untersucht, an dem sich auch das Fraunhofer ISE mit Begleit- und Akzeptanzforschung sowie einem Langzeitmonitoring beteiligt. »Unter den PV-Elementen herrscht ein anderes Mikroklima: Feuchteprobleme nehmen ab, der Pilzbefall sinkt, der Fungizid-Einsatz kann reduziert werden. Auch Tagesfrost kann den Rebstöcken weniger anhaben«, fasst Bett zusammen. So etwa im April diesen Jahres: Während die Temperatur minus zwei Grad Celsius betrug, waren es unter den Modulen lediglich null Grad. Die Schäden an den Pflanzen waren dementsprechend geringer.

Ähnliche Erfahrungen sammelten die Forschenden in anderen Demonstrationsanlagen, etwa im Obstbau. Die Früchte gedeihen besser, es traten weniger Schädlinge auf. Inwieweit Solarmodule im Obstbau die Funktion von Hagelschutznetzen übernehmen und so Qualitäts- und Ertragseinbußen verhindern können, untersucht ein Team aus dem Fraunhofer ISE im Projekt APV-Obstbau. Bett: »Im Bereich der Agri-PV gibt es eine ganze Reihe an offenen Fragen: Wie tropft das Wasser von den Elementen ab? Was bedeutet das für den Boden? Kann man das Wasser auffangen und zur Bewässerung nutzen? Auf dem Testfeld erproben und bewerten wir die verschiedenen Lösungsansätze und bringen Wirtschaftlichkeit und Technologie in Einklang.«

Die Landwirtschaft zeigt sich offen: 72,4 Prozent der Landwirtinnen und Landwirte können sich vorstellen, Agri-PV für ihren Betrieb zu nutzen – vor al-

lem aufgrund der zusätzlichen Einkommensquelle sowie der zukunftsfähigen Entwicklung des Betriebs. Zu diesem Ergebnis kam eine Studie des Fraunhofer ISE und der Universität Göttingen. Mit der Bereitschaft allein ist es jedoch nicht getan. »Die Netzanschlüsse stellen eine große Herausforderung dar: Aufgrund der relativ klein parzellierten Bewirtschaftung in Deutschland lohnt sich die Investition in einen teuren Netzanschluss derzeit vielfach noch nicht«, erläutert Bett. Soll das riesige Potenzial auf Deutschlands Feldern gehoben werden, müssen dringend kostengünstige Netzanschlüsse entwickelt werden. Eine Aufgabe, der sich das Fraunhofer ISE ebenfalls widmet.

Die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen und den Wasserverbrauch zu minimieren, ist aber nicht nur in Deutschland ein drängendes Thema. Das Fraunhofer ISE entwickelt die Agri-PV daher auch für weltweite Fragestellungen. Eines der exotischeren Beispiele aus dem Fraunhofer ISE: ein Photovoltaik-Tunnel für die Shrimp-Zucht in Vietnam. Beschattet von PV-Elementen, können die kleinen Krebstiere in geschlossenen Systemen an Land heranwachsen.

Sonnenstrom aus der Motorhaube

Je näher am Verbraucher der Strom erzeugt wird, desto besser. Warum also nicht die Karosserie von E-Autos nutzen, um Strom zu generieren? Dass dies möglich ist, zeigte Mercedes im April mit dem Vision EQXX und einer Langstreckenfahrt von 1000 Kilometern – ohne Nachtanken, versteht sich. Möglich wurde das auch dank des fraunhoferschen Solardachs mit 117 Solarzellen. Nun legt das Fraunhofer ISE im Projekt HighLite nach: mit einer dünnen Solarzellenfolie für Motorhauben, die sich über die hauseigene MorphoColor®-Technologie farblich der Farbe des jeweiligen Autos anpassen lässt. Als technisch herausfordernd erwiesen sich dabei die gebogene Form und die Rückseite der Solarzellen, die statt aus Glas oder Folie aus Blech bestehen muss. Prototypen mit verschiedenen Stückzahlen an Solarzellen sowie unterschiedlichen Zell- und Verschaltungstechnologien sind bereits gebaut und intensiv getestet. »Über im Auto verbaute Solarzellen lassen sich im Mittel etwa 10 000 Kilometer Reichweite jährlich erzielen«, prognostiziert Bett. »Ein substanzieller Beitrag, wenn man bedenkt, dass die mittlere jährliche Fahrleistung von Deutschlands Autos bei etwa 15 000 Kilometern liegt.« Sie ist also auf einem guten Weg, die Solarstromversorgung in Deutschland. Und was fast noch wichtiger ist: Sie hat noch viel mehr Potenzial. ■

»Über im Auto verbaute Solarzellen lassen sich im Mittel etwa 10 000 Kilometer Reichweite jährlich erzielen.«

Prof. Andreas Bett,
Fraunhofer ISE



Kleiner Krebs, große Wirkung

Inhaltsstoffe für Pestizide, Kosmetika oder Arzneimittel müssen vor ihrem Einsatz hinsichtlich ihres Umweltverhaltens getestet werden. Fraunhofer-Forschende haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich die Anreicherung von Substanzen in Lebewesen zuverlässig bewerten lässt – ohne den Einsatz von Wirbeltieren.

Von Yvonne Weiß

Mehr als 1,2 Millionen EU-Bürger haben die Europäische Bürgerinitiative »Für ein Europa ohne Tierversuche« unterstützt. Die EU-Kommission arbeitet bereits an einem Fahrplan, der mittelfristig zu einer Reduktion bis hin zu einem Ende von Tierversuchen für Tests zur Sicherheitsbewertung von Chemikalien führen soll. Da diese Testungen aber zugleich von großer Bedeutung sind, um Mensch, Tier und Umwelt vor möglichen Schädigungen zu schützen, ist der Bedarf an innovativen alternativen Verfahren immens. Forschende am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Schmallenberg können nun einen Erfolg bei der Suche nach solchen Verfahren vermelden.

Im Zentrum steht dabei die sogenannte Bioakkumulation, also die Aufnahme

Mehr als
1,2 Millionen
EU-Bürger haben
die Europäische
Bürgerinitiative
**»Für ein Europa
ohne Tierversuche«**
unterstützt.

eines Stoffes aus der Umwelt und seine Anreicherung in einem Organismus wie etwa einem Fisch – und möglicherweise direkte Schädigungen des Lebewesens. Andererseits kann der aufnehmende Organismus selbst von anderen Lebewesen gefressen werden – und auf diese Weise seinerseits die angereicherte Substanz in der Nahrungskette weitergeben. Somit können diese Stoffe über die Nahrung letztlich auch die Gesundheit des Menschen gefährden.

Um solch ein Risiko zu vermeiden, müssen europäische Hersteller im Rahmen der behördlichen Zulassung überprüfen lassen, ob und wie stark sich eine chemische Substanz in Lebewesen anreichert. Nur zugelassene Inhaltsstoffe dürfen anschließend ins Produkt – und damit auf den Markt und in die Umwelt.



Bis zu acht
Millimeter groß
wird der Kleinkrebs
Hyalella azteca.

Für den klassischen Labortest zur Überprüfung der Bioakkumulation wurden bisher mehr als 100 Versuchsfische je Substanz benötigt. Fische eignen sich besonders gut für die Prüfung der Umweltwirkung von Chemikalien, da sie Stoffe im Wasser dank ihrer Kiemen effizient aufnehmen. Prof. Christian Schlechtriem, Leiter der Abteilung Bioakkumulation und Tiermetabolismus am Fraunhofer IME, möchte den umstrittenen Test ersetzen: mithilfe von *Hyalella azteca*, dem bis zu acht Millimeter großen mexikanischen Flohkrebs.

Das am Fraunhofer IME entwickelte Verfahren namens *Hyalella azteca* Bioconcentration Test (kurz HYBIT) beruht auf dem gleichen Testkonzept wie der Fischtest – vermeidet jedoch den Einsatz von Wirbeltieren. Möchte nun etwa der Hersteller einer Gesichtsscreme einen Inhalts-

stoff auf seine Umweltverträglichkeit testen, geben die Forschenden die Substanz gemeinsam mit einer Gruppe von Flohkrebse in ein Aquarium mit Wasser. Anschließend messen sie, wie die Konzentration des Stoffes langsam im Gewebe der Kleinkrebse ansteigt. Bleibt die Gewebekonzentration schließlich konstant, überführt das Team die verbleibenden Flohkrebse in frisches Wasser. Weitere Messungen zeigen, wie schnell die Substanz im Gewebe abgebaut und aus dem Organismus ausgeschieden wird. Der sogenannte Biokonzentrationsfaktor gibt so Antwort auf die Frage, ob für die getestete Substanz ein Bioakkumulationsrisiko besteht.

Der Kleinkrebs ist nicht nur einfach und schnell im Labor zu züchten. Auch die Ergebnisse des neuen Ansatzes überzeugen

Christian Schlechtriem: »Mit unserem Testverfahren reduzieren wir den Einsatz von Wirbeltieren wie Fischen – und können dennoch zuverlässig bewerten, wie stark sich eine Chemikalie in der Umwelt anreichert.«

Mit wissenschaftlicher Unterstützung seiner Kolleginnen und Kollegen sowie mit Fördermitteln des Verbandes der Europäischen chemischen Industrie und des Umweltbundesamtes hat Schlechtriem inzwischen seine ursprüngliche Idee zu der international gültigen Richtlinie OECD TG 321 weiterentwickelt – und damit zu einem Testverfahren, das nun weltweit zulässig und anwendbar ist. Der Wissenschaftler verfolgt bereits das nächste Ziel: »Aktuell entwickeln wir den Test so weiter, dass er sich auch für die Bewertung der Bioakkumulation von Nanopartikeln anwenden lässt.« ■

Nachhaltig schlemmen

Käse aus Erbsen, Raps oder Sonnenblume? Am Genuss mit gutem Gewissen arbeitet ein Team des Fraunhofer IVV.

Von Dr. Sonja Endres

Veganer Käse ist bislang ziemlicher Käse. Das findet zumindest Dr. Isabel Muranyi. Die Lebensmittelchemikerin vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising bei München hat sich vorgenommen, das zu ändern. Zusammen mit ihrem Team tüftelt sie an wohlschmeckenden Käsealternativen. Die Nachfrage ist da: Ein Drittel aller Konsumentinnen und Konsumenten will laut einer Statista-Umfrage von 2021 ganz oder teilweise auf Kuhmilch verzichten, vor allem aus Gründen des Tier- und Klimaschutzes, aber auch wegen Unverträglichkeiten.

Die Herausforderungen sind komplex: die geschmackliche Vielfalt, die unterschiedliche Konsistenz, die Farbgebung, das Schmelzverhalten. »Wir müssen wirklich tief ins Detail gehen, um dieses vielschichtige System Käse auf pflanzliche Rohstoffe zu übertragen«, erklärt Muranyi. Deshalb arbeiten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IVV zurzeit gleich in zwei Projekten am perfekten Ersatz. In KäromaVeg liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines authentischen Käsearomas. Herkömmliche Käsealternativen bestehen oft aus einer Stärke-Fett-Mischung, der verschiedene Aromen zugesetzt werden. Muranyi: »Wir gehen einen anderen Weg: Genau wie bei Kuhmilch-Käse wollen wir die Aromen mithilfe von Fermentation natürlich erzeugen.«

Dafür stellen die Forscherinnen und Forscher zunächst eine Pflanzenmilch mit einer ähnlichen Zusammensetzung wie Kuhmilch her. Ausgangsstoff sind Proteine und Öle aus Hülsenfrüchten, Nüssen, Raps oder Sonnenblume.



Das Team experimentiert zudem mit verschiedenen Mikroorganismen wie Milchsäurebakterien oder Pilzen, die der Pflanzenmilch zugefügt werden. Sie bauen die Kohlenhydrate ab und sorgen für eine Säuerung und Gerinnung der Mixtur. Dabei beeinflussen sie das Aroma. »Wir konnten beispielsweise feststellen, dass einige Mikroorganismen das bohnlige Aroma in Hülsenfrüchten nicht nur neutralisieren, sondern sogar in käsige Attribute umwandeln können.«

Wie bei der traditionellen Käseherstellung wird die fermentierte Pflanzenmilch abgepresst und die Masse anschließend unter kontrollierten Bedingungen einige Zeit gelagert, sodass sich Geschmack und Textur weiterentwickeln können. Muranyi: »Ein wichtiger Vorteil unseres Verfahrens ist, dass wir Geräte nutzen, die bereits heute in den Käsereien vorhanden sind.« Teure Investitionen sind nicht notwendig, der Produktionsprozess bleibt gleich – entsprechend groß ist das Interesse der Industrie. Ein Konsortium aus Molkereien, Käsereien, Agrarindustrie und Herstellern von Mikroorganismen, Enzymen sowie anderen Zutaten unterstützt und begleitet die Forschungsarbeiten.

Das Fraunhofer IVV-Team hat sich zunächst die Nachbildung von Gouda und Emmentaler vorgenommen – beides in Deutschland besonders gefragte Sorten. Generell gilt: Kräftig-würzige Aromen sind leichter umzusetzen, milchig-buttrige wie in Mozzarella oder in einem jungen Gouda hingegen knifflig. Doch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben bereits Lösungsansätze entwickelt: »Verschiedene Mikroorganismen setzen Vorläufersubstanzen aus Pflanzenproteinen und -ölen zu aromaaktiven Substanzen wie beispielsweise Diacetyl um, das ein buttriges Aroma entstehen lässt«, so Muranyi. Außerdem könnte eine kürzere Fermentationsdauer helfen, einen mildereren Geschmack zu erzeugen. Insgesamt schreitet der Reifeprozess bei Pflanzenmilch wesentlich schneller voran als bei Kuhmilchkäse. »Besonders leicht«, verrät sie, »lässt sich Parmesan imitieren.« Selbst wenn man überfermentiere, indem man beispielsweise die vegane Käsemasse zu lange bei zu hohen Temperaturen lagere oder zu viele Mikroorganismen einsetze, käme man mit Textur und Geschmack nahe an den beliebten italienischen Reibekäse.

Für die Käsearomen besonders geeignet sind verschiedene Nussfrüchte, mit denen das Fraunhofer IVV-Team experimentiert. Welche das sind, soll noch ein Geheimnis bleiben – die Konkurrenz im Bereich Käseersatz ist groß.

Muranyi: »Wir bringen sowohl das Protein als auch das Öl der Nüsse in unsere Versuche ein. Die Mikroorganismen bauen sie zu Amino- und Fettsäuren ab, die aromaktiv sind, also relevant für unseren Käsegeschmack.« Die Forscherinnen und Forscher experimentieren zudem mit Sonnenblumen- und Rapsöl. »Bei Sonnenblume muss man allerdings aufpassen: Da kann der Käse leicht grün werden«, warnt Muranyi, was an den oft in den Sonnenblumenproteinen enthaltenen Polyphenolen liege, die sich bei einem bestimmten pH-Wert verfärben.

Im Projekt **Pulse2Cheese** steht nicht der Geschmack, sondern das Schmelzverhalten des pflanzlichen Käses im Mittelpunkt. Preisgünstiger Analogkäse zerläuft zwar gut auf Pizza, Aufläufen oder Gebäck, ist aber nährstoffarm und enthält meist zahlreiche Zusatzstoffe. Muranyi: »Mit unserem Fermentationsverfahren können wir Käsealternativen mit einem wesentlich höheren Nährwert herstellen. Unsere Zutatenliste ist kurz: Protein und Öl aus

einem pflanzlichen Rohstoff, Milchsäurebakterien – fertig.« Dabei sind die ungesättigten pflanzlichen Fettsäuren gesünder als die gesättigten, die im Kuhmilch-Käse dominieren. Gesunde Inhaltsstoffe sind nach Geschmack und Preis wichtigstes Kaufkriterium für die meist ernährungsbewussten Konsumentinnen und Konsumenten von Milchersatzprodukten.

Das Problem: Der proteinreiche Pflanzenkäse zerfließt bei Hitze nicht gut, sondern bildet einen festen Klumpen. Die Idee: Durch die Zugabe von Stärke soll das Protein flexibler werden, sich mit der Stärke verbinden und beim Erwärmen verlaufen. Als Ausgangs-

stoff besonders geeignet sind Hülsenfrüchte. Muranyi: »Wir konnten bereits unter dem Mikroskop beobachten, dass die Hülsenfrucht-Proteine Netzwerke ausbilden, wie es auch bei schmelzendem Kuhmilch-Käse der Fall ist.« Hülsenfrüchte lassen sich nicht nur nachhaltig anbauen, sondern haben auch einen besonders hohen Proteingehalt – die Extraktion ist entsprechend effizient. Aus den Rückständen lässt sich Stärke gewinnen. Das Forschungsteam arbeitet zurzeit am optimalen Stärke-Protein-Verhältnis und perfekt abgestimmten Milieubedingungen. »Der pH-Wert spielt eine Rolle, ebenso der Salzgehalt. Nur dann ist die Interaktion zwischen Stärke und Protein so, dass das gesamte System anfängt zu fließen«, erklärt Muranyi – und sich auf Pizza und Co bald eine qualitativ hochwertige, nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Lösungen ausbreiten kann. ■

»Genau wie bei
Kuhmilch-Käse
wollen wir die
Aromen natürlich
mithilfe von
Fermentation
erzeugen.«

Dr. Isabel Muranyi,
Fraunhofer IVV

Intelligente Interaktion im Auto der Zukunft

Die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Fahrer abhängig vom Automatisierungsgrad zu verbessern, ist das Ziel eines Fraunhofer-Forschungsprojekts.

Von **Stefanie Smuda**

Achtung, wenn du jetzt weiterliest, könnte dir auf der kurvigen Strecke schlecht werden. In fünf Minuten fahren wir auf der Autobahn, dann ist es besser.« Schon bald könnten Sätze wie diese nicht mehr vom Elternteil auf dem Beifahrersitz kommen, sondern vom Assistenzsystem im Fahrzeug. Im Projekt KARLI (Künstliche Intelligenz für adaptive, responsive und levelkonforme Interaktion im Fahrzeug der Zukunft) arbeiten Forschende aus den Fraunhofer-Instituten für Optoelektronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB und für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO derzeit daran, die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Fahrer zu optimieren. Dafür setzen sie je nach Automatisierungsgrad des Wagens einen ganzen Mix an KI-Applikationen ein.

An der Seite der Fraunhofer-Forschenden stehen bei KARLI zehn Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft, darunter auch Unternehmen wie Audi, Ford und Continental. Da der Automatisierungsgrad in Fahrzeugen stetig zunimmt, beschäftigen sich Industrie und Forschung inzwischen sehr intensiv damit, die Interaktion zwischen Gefährt und Mensch zu optimieren. Sechs Ebenen der Automatisierung unterscheidet die Wissenschaft dabei aktuell: von nicht automatisiert (Level 0) über assistiert (Level 1), teilautomatisiert (Level 2) und hochautomatisiert (Level 3) bis hin zu vollautomatisiert (Level 4) und schließlich autonom (Level 5). »Im Projekt KARLI entwickeln wir KI-Funktionen für die Au-

tomationslevel von teil- bis vollautomatisiert«, erklärt Projektkoordinator Dr.-Ing. Frederik Diederichs vom Fraunhofer IOSB in Karlsruhe. »Dafür erfassen wir Zustände von Fahrerinnen und Fahrern und gestalten unterschiedliche Mensch-Maschine-Interaktionen, die an die jeweiligen Level und Fahraufgaben angepasst sind.« Das System erkennt über das kamerabasierte Insassenüberwachungssystem zum Beispiel, wenn Fahrer unaufmerksam werden oder zum Handy greifen und kann dann je nach Automationslevel Vorschläge machen oder Warnhinweise geben.

Unterstützung durch KI-Butler

Die Forschenden kombinieren die optische Sensorik zur Innenraumbeobachtung mit Sprachmodellen zu sogenannten Vision-Language-Modellen (VLM). Optische Sensoren aus Innenraumkameras sind seit Juli 2024 für das autonome Fahren ohnehin unverzichtbar, um eine Fahrtüchtigkeit der Fahrenden sicherzustellen. Diese KI-gestützten Sensoren erfassen die Aktivitäten im Auto und liefern visuelle Daten, die dann mit großen Sprachmodellen (engl. Large Language Models, LLM) zu VLM zusammengefügt werden. Auf dieser Basis können moderne Fahrerassistenzsysteme in (teil-)autonomen Fahrzeugen Situationen im Innenraum semantisch erfassen und darauf passend reagieren. Das verringert Interaktionen, die von den Insassen als lästig oder störend empfunden werden könnten, und steigert so die Ak-



Tipp von der KI: Auf kurvigen Strecken besser selbst lenken.

»Die Interaktion im Fahrzeug der Zukunft ist vergleichbar mit einem Butler, der sich im Hintergrund hält, aber den Kontext kennt und den Insassen bestmögliche Unterstützung bietet.«

Frederik Diederichs,
Fraunhofer IOSB



zeptanz. Projektkoordinator Diederichs: »Die Interaktion im Fahrzeug der Zukunft ist vergleichbar mit einem Butler, der sich im Hintergrund hält, aber den Kontext kennt und den Insassen bestmögliche Unterstützung bietet.«

Die Automatisierungslevel geben den Fahrerinnen und Fahrern unterschiedliche Freiheitsgrade. Je niedriger das Level, desto mehr müssen sich Fahrende auf die Straße konzentrieren. Ist das Fahrzeug hingegen teil- oder hochautomatisiert oder sogar autonom unterwegs, können sich die Fahrer mit anderen Tätigkeiten befassen. Für KARLI haben die Forschenden daher verschiedene KI-Applikationen entwickelt: Mit visuellen, akustischen und haptischen Hinweisen wird der Fahrer zum Beispiel auf besondere Straßenverhältnisse oder Sicherheitsaspekte aufmerksam gemacht.

»Gleich wird es regnen und wir müssen das automatisierte Fahren beenden. Bitte bereite dich darauf vor, selbst ein Stück zu fahren. Es tut mir leid, dass du deinen Laptop jetzt sicher verstauen musst. Sicherheit geht vor«, könnte es dann etwa heißen. So soll verhindert werden, dass die Person am Steuer zur falschen Zeit vom Straßenverkehr abgelenkt ist.

Ein weiteres KI-Tool nimmt eines der größten Probleme beim Passivfahren in den Fokus: die Reiseübelkeit. Studien zufolge leiden zwischen 20 und 50 Prozent an sogenannter Motion Sickness. Passagiere sollen deshalb künftig mittels KI rechtzeitig gewarnt werden, indem deren Aktivitäten – etwa das die Reiseübelkeit begünstigende Lesen während der Fahrt – mit erwartbaren Beschleunigungen auf kurvenreichen Strecken abgeglichen werden. Sogenannte

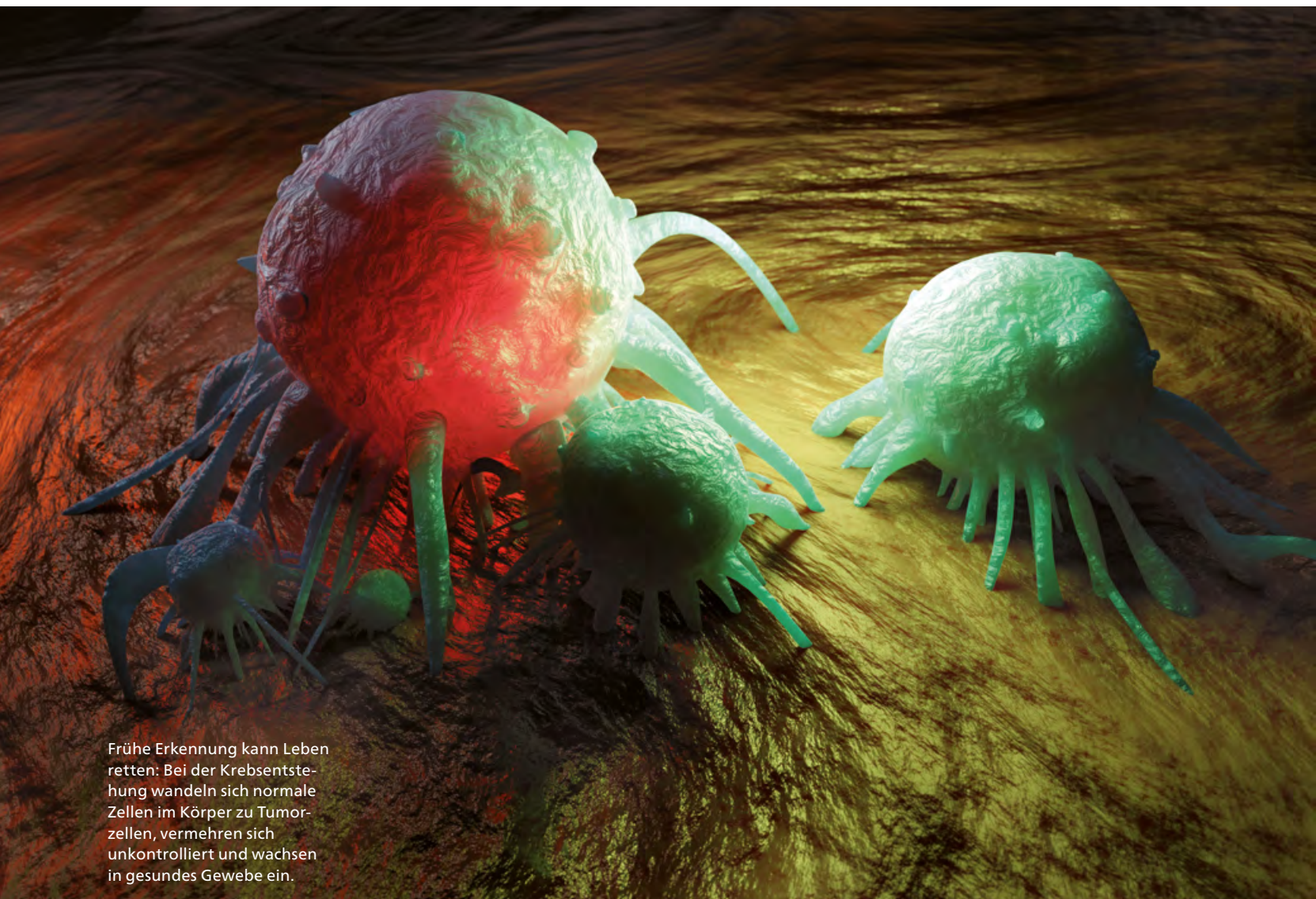
generierte User Interfaces (kurz: GenUI), konzentrieren sich auf individualisierte Ansprachen und Signale. Die Art der Interaktion hängt dabei unmittelbar vom Automatisierungslevel ab: Kurze, rein sprachliche Hinweise gibt es, wenn sich der Fahrer auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren muss. Im autonomen Modus sind auch ausführliche Tipps etwa über visuelle Kanäle denkbar.

Erste Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt testen Diederichs und sein Team mittlerweile auch in der Praxis: Um die Nutzerbedürfnisse beim Fahren im hochautomatisierten Level auf der Straße zu erforschen, nutzen sie ein mobiles Forschungslabor des Fraunhofer IOSB auf Basis eines Mercedes EQS. Erste Funktionen aus KARLI könnten bereits 2026 in Serienfahrzeugen zur Verfügung stehen. ■

Schneller im Kampf gegen Krebs

Je früher Krebs erkannt wird, desto höher die Chancen auf Heilung. Ein neues KI-Basismodell lässt sich auch mit wenigen Daten schnell trainieren und macht die Diagnostik wesentlich effizienter.

Von Franziska Sell



Frühe Erkennung kann Leben retten: Bei der Krebsentstehung wandeln sich normale Zellen im Körper zu Tumorzellen, vermehren sich unkontrolliert und wachsen in gesundes Gewebe ein.

Veränderungen im Gewebe oder Anomalien bei der Durchblutung können auf Krebs hindeuten, sind jedoch in der anatomischen Bildgebung manchmal nur schwer zu erkennen – vor allem in der Frühphase der Krankheit. Expertinnen und Experten erhalten jetzt Unterstützung bei der Diagnosestellung: Lernfähige KI-Systeme tragen dazu bei, solche messbaren Parameter, sogenannte Biomarker, in pathologischen Bildern aufzuspüren. Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medizin MEVIS ist es in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen, der Universität Regensburg und der Hannover Medical School gelungen, hierfür ein KI-Basismodell zu entwickeln, das Gewebeproben anhand eines Bruchteils der üblichen Trainingsdatensätze schnell, zuverlässig und ressourceneffizient analysiert. Für seine Forschungsarbeit wurde das Team im internationalen SemiCOL-Wettbewerb (Semi-supervised learning for colorectal cancer detection) ausgezeichnet. Vor allem in der Krebs-Klassifikation lieferte das Modell überzeugende Ergebnisse.

Weg von großen Datenmengen und selbstüberwachtem Lernen

Klassische Basismodelle, etwa Sprachmodelle wie ChatGPT, werden selbstüberwacht mit großen, diversen Datensätzen trainiert. Diese liegen jedoch bei medizinischen Bildanalysen meist nicht vor. Tatsächlich stellen die geringen Datenmengen in klinischen Studien eine große Herausforderung für die KI dar. Zudem unterscheiden sich klinische Zentren in der Aufbereitung pathologischer Präparate und der Zusammensetzung ihrer Patientenspopulation voneinander – von spezifischen Krankheitsausprägungen ganz abgesehen.

All das erschwert es, vorhandene Muster und damit diagnostisch relevante Merkmale verlässlich aufzuspüren. Um KI effektiv zu trainieren, werden daher in der Regel große Mengen an Beispielbildern unterschiedlicher Herkunft benötigt. Dabei misst jeder Gewebeschnitt typischerweise mehrere Gigabyte, enthält Tausende unterschiedlicher Zellen und spiegelt doch nur einen Bruchteil der beschriebenen Variabilität wider.

Spezialisierung nach fundierter Grundausbildung

Der Lösungsansatz der Fraunhofer-MEVIS-Fachleute basiert auf überwachtem Vortraining. »Wir entwickeln eine Grundausbildung für die KI nach dem Vorbild der Ausbildung, die Pathologinnen und Pathologen durchlaufen. Die müssen ja auch nicht von Fall zu Fall neu lernen, was ein Zellkern ist. Einmal erfasst, sind diese Konzepte

vorhanden und auf verschiedene Krankheiten übertragbar«, erklärt Experte Dr. Johannes Lotz.

Analog dazu erlernt das KI-Modell in seiner Grundausbildung aus einer breiten Sammlung von Gewebeschnittbildern mit verschiedenen Fragestellungen allgemeine Merkmale und Gesetzmäßigkeiten, sogenannte Tissue Concepts. In der Kombination dieser Aufgabenstellungen entstehen die großen Datenmengen, die für das Training eines robusten KI-Basismodells benötigt werden. In einem zweiten Schritt werden die gelernten Konzepte für eine spezifische Fragestellung genutzt. Auf diese Weise können die Algorithmen mit deutlich weniger Daten Biomarker identifizieren, die etwa verschiedene Tumorarten unterscheiden. Jan Raphael Schäfer, KI-Experte am Fraunhofer MEVIS: »Im Vortraining geben wir unserem Basismodell das Bild und liefern ihm die Antwort mit.« Zudem nutzt das Team das am Institut entwickelte Bildregistrierungsverfahren HistokatFusion. Es bietet die Möglichkeit, automatisch annotierte Trainingsdaten etwa aus immunhistochemischen Gewebefärbungen zu generieren, die Proteine oder andere Strukturen mithilfe von markierten Antikörpern sichtbar machen. Dazu kombiniert es Informationen aus mehreren histopathologischen Bildern. Diese automatisch erzeugten Markierungen bauen die Fachleute in das Training ihres Modells ein und beschleunigen so die Sammlung von annotierten Trainingsdaten.

»Wegen der geringen Datenmenge benötigen wir nur etwa sechs Prozent der Ressourcen.«

Dr. Johannes Lotz, Fraunhofer MEVIS

In Vergleichstests mit klassischen, nicht-überwacht geschulten Modellen kommen die Fraunhofer-Fachleute mit lediglich sechs Prozent der Trainingsdaten aus. »Wegen der geringen Datenmenge benötigen wir nur etwa sechs Prozent der Ressourcen«, freut sich Wissenschaftler Lotz. Auch die Trainingsdauer verkürze sich: »160 Stunden reichen.« So ist das Basismodell nicht nur schneller an verschiedene medizinische Herausforderungen anpassbar, sondern auch noch wesentlich günstiger als herkömmliche Lösungen. ■



GROSSBRITANNIEN

Autonom fahren – gut und sicher

Die Entwicklung autonomer Systeme, die sicher und ohne Leistungseinbußen funktionieren, stellt die Industrie vor große Herausforderungen. Im Forschungsprojekt ICON »LOPAAS« haben das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS und die Universität York in Großbritannien neue Sicherheitsstandards entwickelt, insbesondere für autonomes Fahren. Die Forschenden konzentrierten sich darauf, selbstfahrende Autos so sicher zu machen, dass ihre Leistungsfähigkeit, etwa hinsichtlich der Geschwindigkeit, nicht eingeschränkt wird. Das Fraunhofer IESE trug mit seiner Expertise im Risikomanagement dazu bei, dass autonome Systeme Risiken und Unsicherheiten in Echtzeit erkennen und flexibel auf unvorhergesehene Situationen reagieren können. Ein Beispiel ist die sichere Reaktion auf plötzliche Hindernisse im Straßenverkehr.

Die Ergebnisse des Projekts flossen in internationale Sicherheitsstandards wie ISO/PAS 8800 und DIN SPEC 92005 ein, die das Fundament für eine sichere und zuverlässige Nutzung autonomer Systeme weltweit bilden. Sie erhöhen das Vertrauen in autonome Fahrzeuge und ermöglichen deren breite Akzeptanz, nicht nur im Straßenverkehr, sondern auch in anderen Bereichen wie der Logistik.

Wer hat Vorfahrt? Autonomes Fahren braucht verlässliche Sicherheitsstandards.



Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Ein Prototyp des »Hydrocycle« soll bis Ende 2025 fertiggestellt werden.



TSCHECHIEN

Klimaneutraler Easy Rider

Ein wasserstoffbetriebenes Motorrad entwickelt die Referenzfabrik.H2 des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz mit der Technischen Universität Prag und weiteren Partnern. Der Vorteil gegenüber batterieelektrischen Lösungen liegt in der größeren Reichweite des Wasserstoff-Bikes und kürzeren Tankzeiten. Die Herausforderung dabei ist, ein komplettes Brennstoffzellensystem inklusive Wasserstofftank und elektrischem Antriebs-

strang in den Rahmen des »Hydrocycle« zu integrieren.

Das Team der Referenzfabrik.H2 ist für die Dimensionierung des Systems und das »Packaging« verantwortlich, also die platzsparende Anordnung der Komponenten. Zudem entwickeln die Forschenden neue Fertigungstechnologien für die Brennstoffzellenproduktion. Das H₂-Zweirad ist für die innerstädtische Mobilität interessant, soll aber auch für größere Distanzen einsetzbar sein.



EUROPA

Leichter in die Zukunft fliegen

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS hat im Rahmen des EU-Programms Clean Sky 2 einen Durchbruch im Flugzeugbau erzielt. Im Projekt »Multifunctional Fuselage

Effizienter unterwegs dank neuem Fügeverfahren.



Demonstrator« (MFFD) entwickelten die Forschenden eine Methode, um Bauteile aus kohlenstofffaserverstärktem Thermoplast (CFRTP) ohne Bohren und Nieten zu fügen.

Erstmals gelang es so, die obere und untere Hälfte des weltweit größten Flugzeugrumpfssegments aus CFRTP automatisiert zu verbinden – mithilfe des CONTIjoin-Verfahrens, einer Kombination aus CO₂-Lasertechnologie und hochdynamischer Strahlablenkung. Der Wegfall von mechanischen Verbindungselementen und Materialdopplungen wie bei klassischen Überlappverbindungen spart Zeit, Material und Gewicht – und macht die Produktion von Verkehrsflugzeugen effizienter und ökologischer.



Guck mal: Ein neues Verfahren holt kritische Weichmacher aus alten PVC-Böden.



EUROPA

Kritische Weichmacher neutralisiert

Polyvinylchlorid (PVC) ist ein Kunststoff, der häufig in Bodenbelägen steckt. Alte Beläge enthalten jedoch gesundheitlich bedenkliche Weichmacher wie DEHP, deren Verwendung inzwischen verboten ist. Bisher konnte PVC mit diesen Schadstoffen nur verbrannt werden. Im EU-Projekt »Circular Flooring« ist es gelungen, solche alten PVC-Böden nachhaltig zu recyceln. Mit dem lösungsmittelbasierten Recyclingverfahren, das die vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV und dem Unternehmen CreaCycle entwickelten CreaSolv®-Formulierungen verwendet, lassen sich kritische Weichmacher effizient entfernen. Das verbleibende Material erfüllt die Anforderungen der EU-Gesetzgebung und darf zur Herstellung neuer PVC-Böden verwendet werden. Das neue Verfahren lässt sich auf industriellen Maßstab skalieren und unterstützt eine kreislauforientierte Wirtschaft.

KI als »Black Box«:
Was bringt mehr
Transparenz?



ITALIEN

Blick in die KI

Viele Nutzer misstrauen KI-Systemen, weil sie deren innere Prozesse nicht verstehen. Im Projekt XMANAI entwickelte das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS unter Leitung des italienischen Unternehmens TXT e-solutions und mit Partnern aus ganz Europa eine Plattform, die den Einsatz von KI in der Industrie transparenter machen soll.

Aufgabe des Fraunhofer FOKUS war dabei die Gestaltung von Tools, die Daten importieren, speichern und aufbereiten können, um dann die Entscheidungsprozesse der KI durch in-

teraktive Visualisierungen, Wissensgraphen und Erläuterungen in natürlicher Sprache nachvollziehbar zu machen – selbst für Fachfremde. Als Praxisbeispiele dienten die Diagnose und Vorhersage von Maschinen- und Produktionslinienfehlern und die Vorhersage der Kundennachfrage mithilfe von KI. Die Plattform lässt sich durch offene Schnittstellen nahtlos in bestehende IT-Infrastrukturen integrieren. Das Projekt wird von der Europäischen Kommission im Rahmen des Forschungsprogramms Horizont 2020 finanziert.

Natürlich wärmen

Die Wärmepumpe ist eine klimafreundliche, effiziente und stark geförderte Technologie – trotzdem will sie zurzeit kaum jemand kaufen. Dr.-Ing. Marek Miara vom Fraunhofer ISE wirbt um neues Vertrauen.

Von Dr. Sonja Endres

Entenküken nutzen wie Wärmepumpen das Prinzip des Wärmetauschers: In ihren Beinen liegen Venen und Arterien dicht beieinander. So kann das warme Blut aus dem Herzen das kühle Blut aus den Füßen erwärmen, bevor es wieder in den Körper fließt. Gleichzeitig kühlt das warme Blut ab, sodass die Füße kalt bleiben und auf Eisflächen nicht festfrieren.



»Wärmepumpen wandeln eine Einheit Strom in drei bis fünf Einheiten Wärme.«

Dr.-Ing.
Marek Miara,
Fraunhofer ISE



Er gilt als Deutschlands »Wärmepumpen-Papst«: Seit mehr als 20 Jahren erforscht Dr.-Ing. Marek Miara am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg die Technologie, verbessert den Wirkungsgrad und weist in Studien nach, dass Wärmepumpen auch unsanierte Bestandsgebäude und Mehrfamilienhäuser warmhalten können. In den Diskussionen rund um die Novelle des sogenannten »Heizungsgesetzes« hat Miara gelernt: »Das Hauptproblem ist der Vertrauensverlust, den die Wärmepumpe bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern infolge einer beispiellosen Desinformationskampagne erlitten hat.«

Die Verunsicherung zeigt sich in Zahlen. Der Absatz von Wärmepumpen in Deutschland ist eingebrochen. Im ersten Halbjahr 2024 wurden 54 Prozent weniger Geräte verkauft als im gleichen Zeitraum des Vorjahres, meldete der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie BDH. Der Verband schätzt, dass 2024 maximal 200 000 neue Anlagen installiert werden. Damit rückt das Ziel der Bundesregierung von 500 000 Wärmepumpen pro Jahr in weite Ferne.

Dabei liegt ein zentraler Hebel für das Erreichen der Klimaziele in den deutschen Heizungskellern. Ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs entfällt auf die Beheizung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung. 72 Prozent aller Heizungen werden mit klimaschädlichem Gas oder Öl betrieben. Der Anteil der Wärmepumpe liegt bei gerade einmal sechs Prozent. »Dabei ist die Technologie nachhaltig, sehr effizient und robust, seit Jahren erprobt und wird vom Staat mit bis zu 70 Prozent der Anschaffungskosten gefördert«, beklagt Miara und schüttelt verständnislos den Kopf.

Wärmepumpen beziehen in der Regel 65 bis 80 Prozent der Heizenergie aus der Umwelt. Sie funktionieren ähnlich wie ein Kühlschrank. Während dieser jedoch seinem Innenraum die Wärme entzieht und nach außen abgibt, entzieht die Wärmepumpe dem Außenbereich – meistens der Umgebungsluft, manchmal aber auch der Erde oder dem Grundwasser – Wärme und bringt sie durch Verdichten auf die zum Heizen erforderliche Temperatur. Als Antriebsenergie benötigt die Pumpe ebenso wie der Kühlschrank Strom. Der stammt in Deutschland inzwischen zu 65 Prozent aus erneuerbarer Energie – und der Anteil steigt stetig.

Miara: »Selbst bei den aktuell hohen Preisen für Strom und niedrigen Preisen für Gas lohnt sich die Wärmepumpe für Verbraucherinnen und Verbraucher auch finanziell.« Bei einem Standard-Bestandshaus mit einer Fläche von rund 150 Quadratmetern liege die jährliche Ersparnis mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit eher niedriger Effizienz gegenüber einem

Gaskessel heute bei rund 200 Euro, rechnet er vor. Zum Vergleich: Während des russischen Gaslieferstopps im ersten Jahr des Ukraine-Krieges waren es 2022 Ende Juli 3500 Euro – dabei hatte zu diesem Zeitpunkt der Gaspreis noch lange nicht seinen Höhepunkt erreicht. »Meine Berechnungen zeigen deutlich, dass, sobald der Gaspreis auch nur leicht steigt, sich das Verhältnis sofort sehr vorteilhaft für die Wärmepumpe ändert.« Und das Risiko ist hoch, dass die Gaspreise in Zukunft anziehen werden – sei es durch geopolitische Konflikte, strengere Klimaschutzauflagen oder schlicht durch die steigende weltweite Nachfrage bei begrenzten Ressourcen.

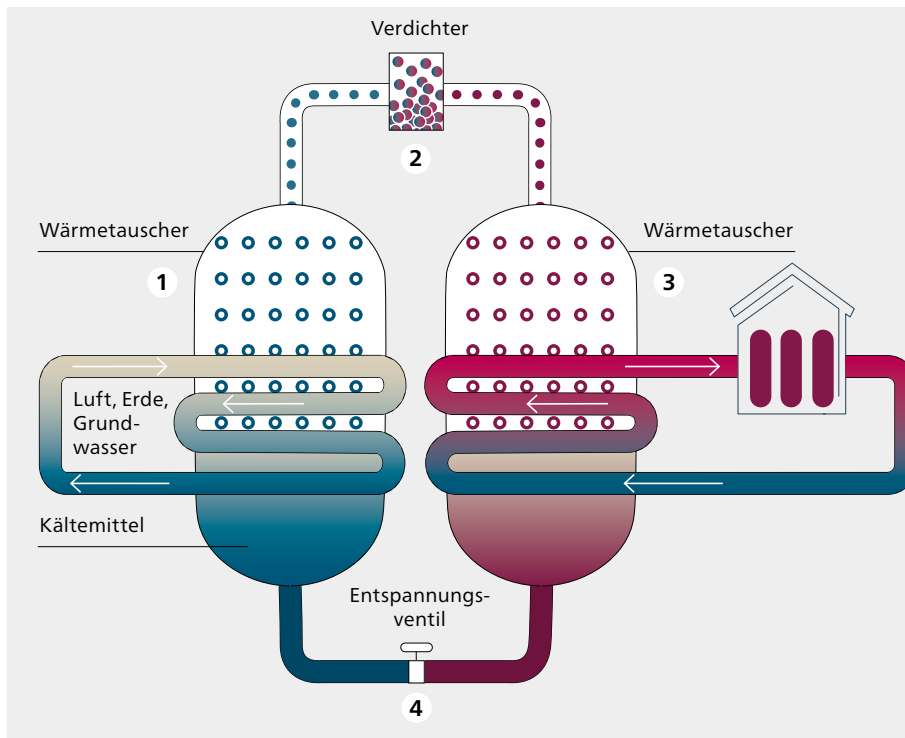
Noch günstiger und ökologischer wird die Wärmepumpe mit Strom aus der eigenen Photovoltaik-Anlage, die zudem unabhängig von Energielieferanten und schwankenden Preisen macht. »Wärmepumpen wandeln eine Einheit Strom in drei bis fünf Einheiten Wärme – auch im Winter«, betont Miara. Und wendet sich gleich gegen ein weiteres Vorurteil: »Auch wenn die Außentemperaturen stark absinken: Ich habe es bei den Hunderten von Anlagen, die wir getestet haben, noch nie erlebt, dass eine Wärmepumpe nicht in der Lage gewesen wäre, ausreichend Wärme bereitzustellen. Die meisten Wärmepumpen werden in skandinavischen Ländern verkauft, und dort ist es bekanntermaßen im Winter nicht besonders warm.«

»Wärmepumpen sind einfach die bessere Option – sowohl ökologisch als auch finanziell.«

Dr.-Ing. Marek Miara, Fraunhofer ISE

Um die Leistungsfähigkeit von Wärmepumpen in Zukunft noch weiter zu steigern und flexibel an sich verändernde Umgebungsbedingungen und Nutzungsgewohnheiten anzupassen, forscht das Team am Fraunhofer ISE aktuell an KI-gestützten Geräten. Kontinuierlich erhobene Messdaten werden von der Künstlichen Intelligenz analysiert und die Betriebsparameter der Anlage entsprechend optimiert. Die Forscherinnen und Forscher erwarten dadurch eine Energieeinsparung von bis zu 20 Prozent.

Auch alternative, natürliche Kältemittel können die Effizienz der Geräte steigern. Kältemittel zirkulie-



Wie funktioniert eine Wärmepumpe?

1. Das flüssige Kältemittel nimmt Wärme aus Luft, Erde oder Grundwasser auf und verdampft dabei.
2. Im Verdichter wird der Kältemitteldampf komprimiert, der Druck steigt und der Dampf erwärmt sich.
3. Der Kältemitteldampf gibt seine Wärme an den Heizkreis ab und kondensiert.
4. Mithilfe eines Entspannungsventils wird der Druck reduziert, wodurch das Kältemittel abkühlt und erneut Wärme aufnehmen kann.

Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e. V.

ren in der Wärmepumpe und ermöglichen die Aufnahme und Abgabe der Wärme. Das Team am Fraunhofer ISE setzt hier unter anderem auf Propan, das wegen seiner sehr guten thermodynamischen Eigenschaften wesentlich höhere Vorlauftemperaturen von bis zu 70 bis 75 Grad ermöglicht. Es ist daher besonders für unsanierte Bestandsgebäude vorteilhaft. Aber auch Wärmepumpen mit herkömmlichen Kältemitteln erreichen mittlerweile Vorlauftemperaturen von 50 bis 55 Grad und sind für die Beheizung von Altbauten geeignet. Miara: »85 Prozent der Geräte, die letztes Jahr verkauft wurden, waren für den Bestand gedacht und nicht für den Neubau – einfach, weil es funktioniert.«

In Zukunft, so ist Miara überzeugt, wird sich Propan als Kältemittel in Wärmepumpen durchsetzen. Bereits heute laufen rund 25 Prozent der Anlagen mit Propan, das auch große ökologische Vorteile hat. Sein Treibhauspotenzial ist 200- bzw. 700-mal geringer als das der beiden bisher am häufigsten genutzten Kältemittel R32 und R410A, deren künftige Verwendung durch die sogenannte F-Gas-Verordnung der EU ohnehin stark eingeschränkt ist. Miara: »Um ein weiteres Vorurteil in diesem Zusammenhang richtigzustellen: Es ist keineswegs so, dass die Kältemittel während des Betriebs in die Umgebungsluft entweichen. Sie bewegen sich in hermetisch abgeschlossenen

Kreisläufen. Das Problem entsteht also vor allem beim Befüllen und Entsorgen der Geräte.« Verbraucherinnen und Verbraucher, die heute eine Wärmepumpe mit synthetischem Kältemittel kaufen, müssen nicht befürchten, diese irgendwann nicht mehr betreiben zu dürfen. Die F-Gas-Verordnung zwingt lediglich die Hersteller dazu, zunehmend auf Kältemittel mit geringerem Treibhauspotenzial oder auf natürliche Kältemittel umzustellen.

Einen Nachteil hat Propan allerdings: Es ist leicht brennbar und explosiv. Deshalb benötigen Propan-Wärmepumpen zusätzliche Sicherheitskomponenten und sind meistens nur für den Betrieb im Außenbereich zugelassen. Den Forscherinnen und Forschern am Fraunhofer ISE ist es jedoch gelungen, auch dieses Problem zu lösen: Durch die Reduktion der Kältemittelmenge auf nur 146 Gramm, was in etwa der Füllmenge von fünf Feuerzeugen entspricht, reduziert sich auch das Sicherheitsrisiko. So wird der Betrieb in Innenräumen möglich. Die innovative Pumpe erzeugt elf Kilowatt Leistung, die für die Beheizung eines durchschnittlichen Einfamilienhauses ausreichend sind. Marek Miara glaubt an diese Zukunft: »Wärmepumpen sind einfach die bessere Option – sowohl ökologisch als auch finanziell.« ■

Foto & Fraunhofer

Dank Fraunhofer sicher ins All

Phasenstabilisiertes Ammoniumnitrat hat dazu beigetragen, dass der Start der neuen Trägerrakete Ariane 6 am 9. Juli vom Europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana reibungsfrei glückte: eine Chemikalie in den Gasgeneratoren zum Starten der Flüssigkeitstriebwerke, die ihren Ursprung in den Laboren des Fraunhofer ICT hat. »Ammoniumnitrat ist eine relativ günstige und gut verfügbare Substanz, die zuverlässig als Oxidationsmittel den für den Verbrennungsprozess benötigten Sauerstoff liefert«, erklärt Dr. Thomas Keicher, stellvertretender Leiter des Bereichs Energetische Materialien am Fraunhofer ICT. »Leider hat Ammoniumnitrat die Tendenz, bei höheren Temperaturen seine Kristallstruktur zu verändern und so Mikrorisse im Gasgeneratorsatz zu erzeugen. Das führt zu einem unkontrollierten Abbrand des Gasgenerators bis hin zur Explosion.« Ohne eine Phasenstabilisierung des Oxidationsmittels wäre der Start der Ariane 6 also sehr viel gefährlicher gewesen.

Am Fraunhofer ICT haben Forschende deshalb speziell für Raketentreibstoffe und Gasgeneratorsätze ein chemisches Verfahren entwickelt, durch das mittels Zusatzstoffen – für den Ariane-6-Anlasser wurde Nickeloxid verwendet – auch bei höheren Temperaturen die Struktur des Ammoniumnitrats erhalten bleibt. Keicher: »Diese Erfindung wurde bereits in den 1970er-Jahren von Fraunhofer patentiert und hat sich bis heute nicht wesentlich verändert, ist also immer noch State of the Art.«

Auch wenn der Jungfernflug der Ariane 6 ein erhebender Moment in der Raumfahrt war und das Fraunhofer ICT an diesem europäischen Großprojekt maßgeblich beteiligt war, betont Thomas Heintz, Projektgruppenleiter Partikeltechnologie im Bereich Energetische Materialien am Fraunhofer ICT: »Unser Institut fliegt bestenfalls ideell mit in den Weltraum: Sobald die Ariane 6 abhebt, ist unsere Arbeit erledigt.«



9. Juli, 21 Uhr MESZ:
Die Trägerrakete
Ariane 6 startet von
Kourou in Französisch-
Guayana zu ihrem
Jungfernflug. Später
soll sie mindestens
neun Flüge pro Jahr
absolvieren.

Foto: ESA-CNES-ARIANESPACE-ARIANEGROUP/Optique Vidéo du CSG

Sonnenstrahlen bunkern für den Winter

Den Sommer einfach etwas tiefer legen: Ein Pilotprojekt will ausgediente Zechen im Ruhrgebiet zu Vorratskammern für Wärme umfunktionieren.

Von Beate Strobel

Wenn die Tage jetzt wieder kürzer und herbstlich-kühl werden, möchte man am liebsten schnell noch ein paar Grad Celsius einzahlen auf eine Art Temperaturkonto für die kommenden Wintermonate. Doch Wärme lässt sich nicht ansparen. Oder?

Einen Sonnenvorrat anlegen: Genau das ist Ziel des Projekts WINZER (»Wärmespeicherung in Zechen des Ruhrgebiets«) unter Leitung der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG. Im Zentrum des Vorhabens steht eine Kleinzeche unterhalb des Fraunhofer IEG-Geländes am Standort Bochum. In den Nachkriegsjahren wurde dort oberflächennah Kohle abgebaut, doch die Besitzer stellten die Bergbautätigkeiten wegen fehlender Ergiebigkeit bereits nach wenigen Jahren wieder ein. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), will nun das Fraunhofer IEG in Kooperation mit der Ruhr-Universität Bochum, der TU Bergakademie Freiberg und der delta h Ingenieurgesellschaft die stillgelegte Grube in eine unterirdische Wärmflasche verwandeln. Und dort die Sonnenenergie des Sommers für die Wintersaison aufbewahren.

Die kleine Zeche ist nahezu ideal für das innovative Vorhaben. Sie ist im Bereich zwischen 22 und 64 Metern Tiefe wassergefüllt, und das Wasser kann die Hohlräume nicht verlassen. Zugleich besitzt sie eine gute Permeabilität und Transmissivität, also Durchlässigkeit der Gesteine für Wasser, das als Wärmeträgermedium fungiert. »Das Grubenwasser wird in den Sonnenmonaten aus dem etwa 11 Grad kühlen obertägigen Bereich gefördert und durch eine Solarthermieanlage mit einer Leistung von 30 Kilowatt erhitzt«, erklärt Florian Hahn, Leiter der Abteilung Bergbaufolgenutzung am Fraunhofer IEG. »Das warme Wasser wird anschließend in der Grube gespeichert, wobei sich auch das Gestein erwärmt und zum Wärmflascheneffekt beiträgt.« Im Winter läuft das Ganze dann umgekehrt ab: Das warme Wasser wird hochge-

pumpt, läuft über den Wärmetauscher einer Hochtemperatur-Wärmepumpe und kann so Gebäude mit Wärme versorgen. Das wieder abgekühlte Wasser wartet anschließend in der Grube auf den nächsten Sommer.

Auf der Suche nach optimalen Bedingungen

Ähnlich wie Autofahrer das vom Reifenwechsel kennen, soll bei dieser Form der Wärmespeicherung die »O bis O«-Regel greifen: Von Ostern bis Oktober wird das Grubenwasser erhitzt, von Oktober bis Ostern wird die Wärme genutzt. Insofern steht das WINZER-Team nun in der Startlöchern: Ziel ist, noch in diesem Jahr für einen ersten Praxistest zunächst 35 Megawattstunden einzuspeisen, was knapp dem Jahresbedarf zweier Einfamilienhäuser entspricht.

Dabei wollen die Forschenden das System einem gesamtheitlichen Monitoring unterziehen: Wie schnell verteilt sich die Temperatur im Untergrund? Wie lange lässt sich die Wärme speichern? Kommt es zu Ablagerungen oder Korrosion an den beteiligten Gerätschaften? Und wie wirken sich Temperaturen von bis zu 60 Grad auf das umliegende Gestein und auf die Mikrobiologie aus? »Vieles kann man vorab simulieren, doch die Realität sieht dann doch oft anders aus«, weiß Projektkoordinator Dr. Mathias Nehler vom Fraunhofer IEG. »Wir möchten im Forschungsmaßstab und mit einem begrenzten Speichervolumen zeigen, unter welchen Bedingungen das Prinzip der Wärmespeicherung im Grubenwasser optimal funktioniert. Und die Technologie dann hochskalieren auf größere Zechen und für Großwärmepumpen.« Dass Wärmepumpen theoretisch die Power hätten, den deutschlandweiten Wärmebedarf bis 200 Grad Celsius durch die Nutzung von Umwelt- und Abwärme langfristig sicherzustellen, hatte kürzlich erst eine Studie des Fraunhofer IEG im Auftrag der Agora Energiewende ergeben.





Foto: Frank Wiedemeier/IEG Fraunhofer

Die Idee der Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken für die Wärmewende ist nicht brandneu. Die Stadtwerke Bochum etwa entziehen der Grube Robert Müser seit gut zehn Jahren das von Natur aus 20 Grad warme Wasser und beheizen damit eine Feuerwache und zwei Schulen auf klimafreundliche Weise. Um den Bochumer Industrie-, Wissens- und Technologiecampus MARK 51°7 mit Wärme und auch Kälte zu versorgen, wird das rund 27 Grad warme Wasser der Zeche Dannenbaum aus 810 Meter Tiefe hochgepumpt, über Wärmepumpen auf bis zu 48 Grad Celsius erwärmt und ins Wärmenetz geleitet. Für die Kälteversorgung kommt das Wasser aus einer 340

»Wir möchten zeigen, unter welchen Bedingungen Wärmespeicherung im Grubenwasser optimal funktioniert.«

Dr. Mathias Nehler, Fraunhofer IEG

Meter tiefen Bohrung. Seine Temperatur von etwa 16 Grad Celsius wird über Wärmepumpen auf 10 Grad heruntergekühlt. Das Grubenwasser soll so in Zukunft mehr als 75 Prozent des Wärme- und Kältebedarfs der Kunden im Quartier decken.

Nicht nur die vorhandene Wärme zu nutzen, sondern Grubenwasser mittels Solarenergie oder alternativ auch über industrielle Abwärme aufzuheizen, ist ein neuer Ansatz im Projekt WINZER, der auch interessant sein könnte für ehemalige Bergbauregionen weltweit. Das Ruhrgebiet kann dafür als Blaupause dienen. »Hier gibt es nicht nur zahlreiche ungenutzte Gruben, sondern auch eines der größten Fernwärmenetze Europas«, erklärt Florian Hahn. »Das sind günstige Rahmenbedingungen, um etwa ein Müllheizkraftwerk, das ja viel Abwärme produziert, mit einem Grubenspeicher zu verbinden und so ▶

Tiefe Blicke: Mittels mobiler Bohranlage wurde das Grubengebäude unterhalb des Fraunhofer IEG-Campus erschlossen.

winterliche Spitzenlasten über gespeicherte Wärme abzudecken.« Voraussetzung dafür sei jedoch, dass nicht nur das Monitoring des Projekts WINZER positive Befunde und Optimierungshinweise liefert, sondern auch die Bürokratie sich als technologieoffen beweist: Ein ganzes Jahr benötigte Hahn allein dafür, alle rechtlichen Rahmenbedingungen mit den zuständigen Behörden zu klären und einen Gestattungsvertrag mit dem Eigentümer der Kleinzeche unterhalb des Geländes des Fraunhofer IEG aufzusetzen. Hahn: »Da haben wir einen Präzedenzfall geschaffen.«

Von Ewigkeitslasten zum Ewigkeitsnutzen

Aus ökologischer wie ökonomischer Sicht kann sich der Aufwand lohnen. Während bei der Stromversorgung der Anteil erneuerbarer Energien stetig steigt, hinkt die Versorgung mit regenerativer Wärme und Kälte hinterher. Aktuell werden mehr als 50 Prozent der Energie für die Bereitstellung von Wärme und Kälte verwendet; der Anteil erneuerbarer Energien liegt dabei zwischen 7 und 12 Prozent. Denn es fehlt unter anderem an Speichermöglichkeiten etwa der solaren Überschüsse im Sommer.

»Ohne regional angepasste Lösungen zur Wärmespeicherung werden wir die Wärmewende nicht hinbekommen.«

Florian Hahn, Fraunhofer IEG

»Die Nutzung von Solarthermie und Grubenwasser als Speichermedium kann den saisonalen Unterschied zwischen Bereitstellung und Bedarf ausgleichen«, ist Mathias Nehler überzeugt. Hahn ergänzt: »Unser Ziel ist, aus den Ewigkeitslasten des Bergbaus einen Ewigkeitsnutzen zu generieren. Und so aus den negativen Hinterlassenschaften einen positiven Mehrwert zu ziehen.«

Aktuell präsentieren Hahn und Nehler die WINZER-Anlage vielen Interessenten von Stadtwerken und Betreibern von Fernwärmenetzen. »Die Energiekrise infolge des Krieges in der Ukraine hat ein starkes Umdenken hinsichtlich kommunaler Wärmeplanung bewirkt«,

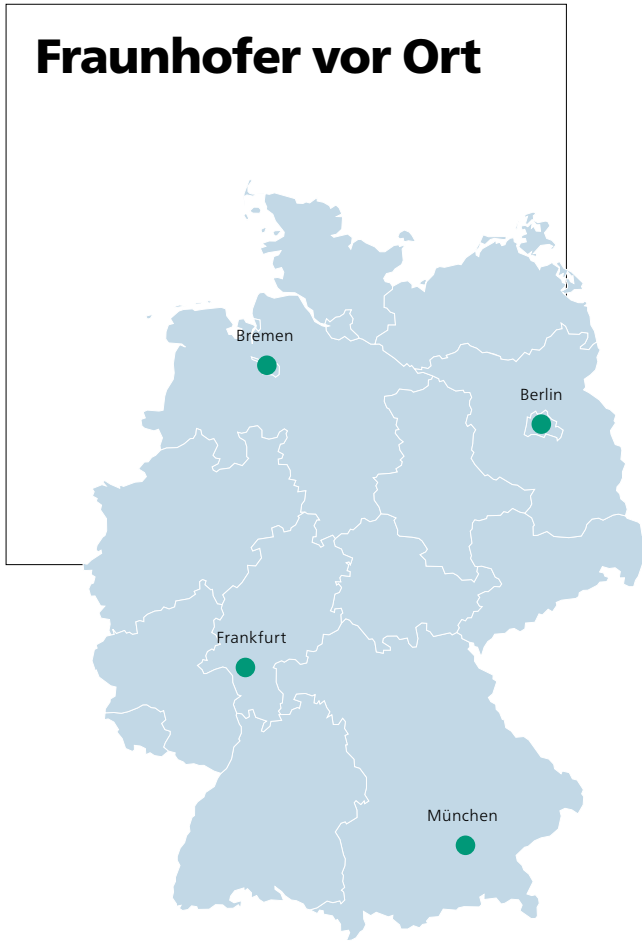
erklärt Hahn. Auch die Industrie suche nach neuen Möglichkeiten der Dekarbonisierung. Die Nutzung von Grubenwasser als Wärmespeicher sei zwar nur ein Puzzlestück im Portfolio der Wärmespeicherung – aber eben eines, das perfekt in Gebiete wie das Ruhrgebiet oder die ehemaligen Bergbauregionen in Sachsen und im Erzgebirge passe. »Wir brauchen Speicherkapazitäten, um die regenerative Energie vom Tag in die Nacht und vom Sommer in den Winter zu transferieren«, ist Hahn überzeugt. »Ohne solche regional angepasste Lösungen zur Wärmespeicherung werden wir die Wärmewende nicht hinbekommen.« ■



Nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden im Ruhrgebiet viele Kleinzechen (Foto: Museumszeche).

Foto: Horst Ossinger/dpa

Fraunhofer vor Ort



-  **Berlin**
01.–10. November 2024
Berlin Science Week
 Festival wissenschaftlicher Ideen und Debatten
-  **Berlin**
07.–09. November 2024
Falling Walls Science Summit
 Internationale Wissenschaftskonferenz
-  **Frankfurt/Main**
19.–22. November 2024
Formnext
 Internationale Fachmesse für additive Fertigungstechnologien
-  **Bremen**
19.–21. November 2024
Space Tech Expo Europe
 Europäische Ausstellung und Konferenz für Raumfahrttechnologie und -dienstleistungen
-  **München**
13.–17. Januar 2025
BAU 2025
 Weltleitmesse für Architektur, Materialien, Systeme

Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

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



»Ich mag die Idee und die Leidenschaft für das Thema gehabt haben, aber ohne Fraunhofer gäbe es diese Entdeckung nicht – schon die Gelegenheit dazu hätte gar nicht bestanden.«



Dr. Hunter King,
Gründer Integrative
Nanotech