Fraunhofer
1 | 26

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Gedenkjahr
200. Todestag
Joseph von
Fraunhofer

Energie? Aber sicher!

Alltag unter Strom:
So macht Forschung
das Netz resilient

Prof. Marco Jung,
Fraunhofer IEE

Weltgefahr Drohne
Wie akustikbasierte Abwehrsysteme
mehr Sicherheit schaffen

Mission Zukunft
New Space: Jetzt wird Raumfahrt
zur Chance für die Wirtschaft

Fraunhofer



JOSEPH VON
FRAUNHOFER
1787–1826

Jubiläumsjahr 2026

Joseph von Fraunhofer gilt als Begründer der deutschen Präzisionsoptik und verband wissenschaftliche Methodik mit einem sehr erfolgreichen Unternehmertum. Den 200. Todestag ihres Namensgebers wird die Fraunhofer-Gesellschaft 2026 feierlich würdigen. Fraunhofers Grab trug die Inschrift: »Approximavit sidera« (Er brachte die Gestirne näher).

Editorial

Uns prägt, wo wir herkommen

Von Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka



Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Johann Wolfgang von Goethe, anno 1749 geboren, war – wie man heute sagen würde – not amused: »Abscheulich« fand er die Fraunhofer-Linien, die sein Zeitgenosse Joseph von Fraunhofer entdeckt hatte, »wider die Natur des Lichts, letztlich unwichtig«. In einem Brief an seinen Freund Caspar Graf von Sternberg legte der Dichter und Naturforscher nach: »Fraunhofers Bemühungen kenn ich; sie sind von der Art, die ich ablehne.«

Es mag sein, dass Joseph von Fraunhofer, der niederbayerische Selfmademan aus dem kleinen Straubing, mit seinen praktischen Erkenntnissen den Großdenker in seiner Eitelkeit gekratzt hatte. Schließlich hatte Goethe fast zwei Jahrzehnte an seiner Farbenlehre gefeilt. Und dann kam da dieser Waisenjunge, baute die besten Optiken seiner Zeit und sah die Welt in neuen Farben. Fraunhofers experimentelle Befunde widersprachen Goethes optischer Theorie. Später wurden sie gefeiert als »der Barcode der chemischen Elemente in der Sonnenatmosphäre«.

Theoretiker gegen Praktiker: Wenn wir 2026 Joseph von Fraunhofers 200. Todestag in einem Gedenkjahr unter Schirmherrschaft der UNESCO würdigen, dann arbeiten wir daran, diesen Gegensatz aufzulösen. Forschung ist für uns in der Fraunhofer-Gesellschaft kein Selbstzweck. Forschung und Erkenntnis sind die Rohstoffe – und leider durchaus: die einzigen Rohstoffe in relevanter Größenordnung –, die unser Land auszeichnen und die unserer Wirtschaft zur Verfügung stehen. Wir bringen sie, und das ist unser Anspruch Tag für Tag, Monat um Monat, in die Praxis.

Bei Joseph von Fraunhofer ging es nicht um große Worte, sondern um das, was am Ende funktioniert hat. So machte der Arbeiter, Schritt für Schritt, seinen Weg zum Wissenschaftler von Weltrang – und letztlich hinein in ein Unternehmen, dessen Instrumente in ganz Europa begeistert nachgefragt waren. Diese Haltung, dass Forschung und praktische Anwendung zusammengehören, dass Wissenschaft nicht Selbstzweck ist, sondern dem Wohl von Wirtschaft und Gesellschaft dient, bestimmt unsere Arbeit noch heute, 200 Jahre nach Fraunhofers frühem Tod am 7. Juni 1826.

Uns prägt, wo wir herkommen. Entscheidend aber ist, was unsere Arbeit heute konkret bewirkt. Jahr für Jahr unterstützt Fraunhofer mit rund 8000 Projekten unsere Industrie, und da vor allem den deutschen Mittelstand. Zahlreiche Weltmarktführer sind selbstverständlich Fraunhofer-Kunden – ein klares Zeichen für das Vertrauen führender Unternehmen in unsere Kompetenz. Fraunhofer-Forschung wirkt wirklich. Und sie wirkt dort, wo sie gerade heute in außerordentlichem Maß gebraucht wird: in und für die Wirtschaft.

Nur 39 Jahre alt wurde unser Namensgeber Joseph von Fraunhofer, vor 200 Jahren ist er gestorben. Sein Grab trug die Aufschrift »Approximavit sidera«. Tatsächlich brachte er uns die Gestirne näher. Wie nahe uns das Weltall inzwischen gerückt ist, belegt eines der Titelthemen dieses Fraunhofer-Magazins. In der Vergangenheit diente die Weltraumforschung vor allem dem Wissensgewinn. Inzwischen ist eine neue, sehr praktische Perspektive dazugekommen: Wie lässt sich der erdnahe Weltraum kommerziell nutzen? Wirtschaftsprognosen sehen ein jährliches Wachstum von bis zu sechs Prozent für die New-Space-Ökonomie.

Viel praktische Erkenntnis beim Blick in die Sterne

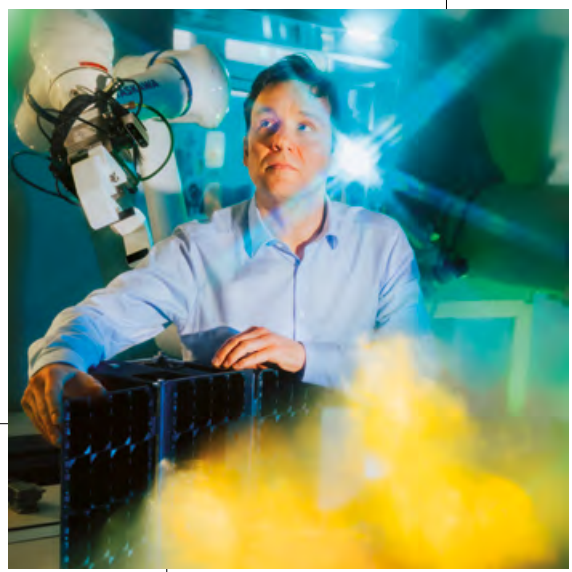
Ihr



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

Foto: Fraunhofer/Stefan Obermeier

Inhalt





10
Raumfahrt
Mission Zukunftsmarkt
Die New Space Economy hebt ab – und bietet immense Chancen für die deutsche Wirtschaft.

38
Energiewende
Power on!
Wie lassen sich unsere Stromnetze dauerhaft stabil halten? Fraunhofer-Forschende entwickeln innovative Lösungen.



32
Gäbe es Fraunhofer nicht, man müsste es erfinden
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka zum 200. Todestag des Joseph von Fraunhofer

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

10 Mission Zukunft im All
Warum Space-Technologien jetzt in Serie gehen müssen

16 Nach den Sternen greifen
Fraunhofer-Technologie im Weltraum – ein Überblick

22 Landwirtschaftliche Helfer im All
Wie die Welternährung von Entwicklungen aus der New Space Economy profitieren kann

38 Auf zu sicherer Energie
Künstliche Intelligenz, netzbildende Wechselrichter, bidirektionales Laden und Co für mehr Resilienz im Stromnetz – damit Deutschland nicht im Dunkeln bleibt

49 Vorrat für den Energie-Hunger
Energie-Engpässe überbrücken mit neuen Speichertechnologien: Fraunhofer-Forschende haben unter anderem den bisher größten Vanadium-Redox-Flow-Batteriespeicher Europas in Betrieb genommen

52 Strom aus Holz
Lignin hält Holzfasern zusammen, eignet sich aber auch für die Herstellung nachhaltiger Batterien. Weltweit fallen von dem Stoff jedes Jahr etwa 50 bis 70 Millionen Tonnen als Nebenprodukt der Zellstoff- und Papierindustrie an

24 Stimme aus der Wirtschaft
Wissenschaft und Wirtschaft: Neugier ist für DIHK-Hauptgeschäftsführerin Dr. Helena Melinkov »das Beste aus beiden Welten«

26 Tue Gutes – und spare dabei!
Navigationshilfe für Unternehmen auf dem Weg zum ganzheitlichen Klimaschutzmanagement

28 Im Wettlauf mit der Korrosion
Altmunition verrostet auf dem Meeresgrund. Smarte Sensorik hilft bei der Suche

32 Gäbe es Fraunhofer nicht, man müsste es erfinden
Die Fraunhofer-Gesellschaft würdigt ihren Namensgeber zum 200. Todestag

36 Unter die Haut
Eine automatische Dokumentation von Ultraschallaufnahmen soll im Klinikalltag entlasten

54 Wo bin ich – und wenn ja: wie weit?
Die Arbeit im OP erleichtert jetzt eine innovative Fasersonde

56 Palmöl-Alternative aus Treibhausgasen
Doppelt nachhaltig: Industrieabgase abfangen und ökologisch sinnvoll verwerten

74
Mobile Früherkennung

Überträgt gefährliche Erreger: die Amerikanische Rebzikade





60
Im Loop statt im Müll

Fast-Fashion-Mode kann größtenteils nicht zu neuen Textilien recycelt werden – bis jetzt.

58 Forschung für den Ernstfall
Krisen besser beherrschbar machen

60 Im Loop statt im Müll
Synthetisches Mischgewebe wieder zu T-Shirts, Hosen und Co verarbeiten

62 Ein Start-up revolutioniert den Zahnersatz
Kostengünstige Prothesen mit Gold-Anteil aus dem 3D-Drucker

64 Drohnen im Anflug
Erkennen, identifizieren, abwehren – Forschende wissen, wie

66 Schaumiger Schutz
Eine extraleichte Batteriehülle, die thermisch robust ist

68 Foto & Fraunhofer
Die Toxine der giftigsten Spinne Deutschlands könnten helfen, Krebs zu heilen

70 Fraunhofer international

72 Trübe Brühe, saubere Lösung
In Abwasser stecken viele wertvolle Stoffe



64
Drohnen im Anflug

Akustikbasierte Abwehrsysteme hören Flugobjekte, noch bevor sie zu sehen sind.

74 Mobile Früherkennung von Agrarschädlingen
Ein Labor auf vier Rädern hilft beim Kampf gegen Amerikanische Rebzikade und Co

76 Chips für Europa
Das Mega-Projekt APECS soll die Resilienz im Halbleiterbereich erhöhen

78 Hugo-Geiger-Preise
Herausragendes von jungen Nachwuchswissenschaflern und -wissenschaftlerinnen

84 Smarte Wearables statt Kabelsalat
Ein bequem tragbares Sensorsystem warnt vor Herzerkrankungen

87 Fraunhofer vor Ort

Die globale Raumfahrtwirtschaft verzeichnete 2024 einen Rekordwert von 613 Milliarden US-Dollar. Dabei trug der kommerzielle Sektor **78 %** zum Gesamtwachstum bei.

Quelle: The Space Report 2025/ Space Foundation

78 %

Fotos Cover und Rückseite: Heinz Heiss, Max Slobboda;
Fotos Inhalt: Max Slobboda, Heinz Heiss, Fraunhofer-Gesellschaft/Vivian Ellermeyer, blickwinkel/Alamy/mauritius images, ronstik/istockphoto, Jens Büttner/dpa

Kurz gemeldet



Damit Papierverpackungen in Zukunft besser im Kreislauf geführt werden können, dürfen sie keine Zusatzstoffe enthalten.

Papierverpackungen leichter recyceln

Papierverpackungen lassen sich bislang nicht ohne zusätzliche Klebstoffe oder Kunststoffschichten verschließen, die das Recycling erschweren. Im Projekt PAPURE entwickeln vier Fraunhofer-Institute ein laserbasiertes Verfahren, das es ermöglicht, auf Klebstoffe zu verzichten. Das Forschungsteam arbeitet an einem Fügeprozess, in dem das Papier durch eine Laservorbehandlung so modifiziert wird, dass es sich anschließend mittels eines Heißsiegelverfahrens direkt verbinden lässt.

Dafür analysieren die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen unter anderem verschiedene Papiere. Die Modifikation der Papieroberfläche erfolgt mithilfe eines Kohlenstoffmonoxid-Lasers. Nach der Bestrahlung verbleiben auf dem Papier aufschmelzbare Spaltprodukte, die sich mittels Druck und Wärme stoffrein fügen lassen. Die Vorarbeiten des Teams sollen in einen industrienahen Demonstrator überführt werden: eine rund sechs Meter lange Fertigungsanlage, die den Herstellungsprozess eines typischen Verpackungsmittels abbildet und am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Dresden entsteht. An dem Projekt wirken außerdem mit: die Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP, für Werkstoff- und Strahltechnik IWS sowie für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV. ■

Lebensmittelfälschungen schnell entlarven

Olivenöl aus gefärbtem Rapsöl, Oregano gestreckt mit billigen Pflanzenresten – Lebensmittelbetrug ist ein lukratives Geschäft. Ein mobiles Sensorsystem soll künftig helfen, Fälschungen rasch zu erkennen. Im Projekt PUMMEL vereinen Forschungsteams der Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS, für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME sowie für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV ihre Kompetenzen aus den Bereichen Gaschromatographie-Messmethoden, Sensorentwicklung und chemische Sensorik. So wollen sie ein Gaschromatographie-Sensorsystem für den schnellen Vor-Ort-Nachweis von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) entwickeln. VOCs sind chemische Verbindungen, die charakteristisch für eine bestimmte Zusammensetzung sind und mit Veränderungen von Produkteigenschaften in Verbindung gebracht werden. Das mobile System, das in etwa so groß sein soll wie eine Umhängetasche, besteht aus einer Siliziumchip-basierten Gaschromatographie-Säule (GC-Säule), einem Detektor bzw. Sensor, einer integrierten Probenvorbereitung, einer Ansteuerungs- und Auswertelektronik sowie einer Energieversorgung. ■



Olivenöl gehört zu den Top 10 der am häufigsten gefälschten Lebensmittel.

Nachhaltig zocken

Wie lässt sich Elektroschrott verringern und die Elektronikproduktion nachhaltiger gestalten? Das können Jugendliche im neuen Serious Game »ICT.factory« lernen. Entwickelt wurde das browserbasierte Computerspiel von Expertinnen und Experten des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM und der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) gemeinsam mit Game-Designern, Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern. In Playtests mit Schulklassen wurde besonders auf Motivation, Verständlichkeit und Spielspaß geachtet.

Die Teenager übernehmen in »ICT.factory« eine in die Jahre gekommene Elektronikfabrik und haben die Aufgabe, das veraltete Unternehmen nachhaltig zu modernisieren und fit für die Zukunft zu machen. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette – vom nachhaltigen Einkauf der Rohstoffe über die effiziente und ressourcenschonende Fertigung, die Modernisierung der Produktionsanlagen bis hin zur Implementierung unterschiedlicher Nachhaltigkeitskonzepte und dem Recycling – gilt es, strategisch kluge Entscheidungen zu treffen. Das Spiel greift dabei reale Herausforderungen auf, etwa den Umgang mit Ressourcenknappheit. Das Online-Spiel läuft ohne Installation auf allen gängigen Geräten und richtet sich an Jugendliche ab 13 Jahren. ■



Spielend lernen und Spaß haben: ict-factory.de.

Fingerprothese aus dem 3D-Drucker



Die Gelenkstruktur kann problemlos um 90 Grad gebogen werden.

Forschende aus vier Fraunhofer-Instituten haben im Projekt ProFi Finger für eine Handprothese entwickelt, die aus einem einzigen, mittels 3D-Druck gefertigten Bauteil bestehen. Ein multistabiles, programmierbares Metamaterial ersetzt die herkömmliche verschraubte Konstruktion aus mehreren Teilen und lässt sich in drei Positionen fixieren. Die neue passive, also funktionslose, ästhetische Prothese soll günstiger und einfacher zu handhaben sein.

Umgesetzt wurde die Fraunhofer-Lösung mittels einer Gelenkstruktur, die nur einen rotatorischen Freiheitsgrad besitzt und mit bistabilen Einheitszellen verschaltet ist. Das Metamaterial wurde bereits als Gelenkersatz für einen Ellenbogen verwendet. Um es in den wesentlich kleineren Bauraum eines Fingers zu überführen und einen geringen Biegeradius zu realisieren, haben die Forschenden Anpassungen an der Gelenkstruktur vorgenommen. Diese besitzt eine geringe Steifigkeit in der Beugungsrichtung und kann eine annähernd beliebige Außenkontur annehmen. So können Finger individuell und detailgetreu nachgebildet werden.

Am Projekt beteiligten sich Forschende aus den Fraunhofer-Instituten für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Werkstoffmechanik IWM, Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und Angewandte Polymerforschung IAP. ■

Fotos: Davizro, TKphotography64/beide istockphoto, Lily Solopova / Westend61/mauritius images, Fraunhofer LBF

Zuverlässig kommunizieren

Im Katastrophenfall ist der Mobilfunk schnell überlastet. Ein softwarebasiertes, drahtloses und ad-hoc-fähiges Kommunikationssystem für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) hat jetzt ein Forschungsteam im Projekt »5G Opportunity« entwickelt. Gemeinsam mit ihren Partnern erprobten die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT das mobile, selbstorganisierende Kommunikationsnetz, das auf der Fraunhofer-WiBACK-Technologie (Wireless Backhaul) basiert. Es ermöglicht den Einsatzkräften, sich untereinander, mit der Einsatzleitung und dem Internet zu verbinden. Als Basis für das WiBACK-Kommunikationsnetz dienen 5G/Open RAN (Radio Access Network) und WiFi als Zugang für Smartphones sowie Multihop-Richtfunk als Zuführung (engl. Backhaul). »Ein WiBACK-Netz kann in kürzester Zeit errichtet und sofort konform der Regulatorien betrieben werden«, sagt Projektleiter Dr. Mathias Kretschmer, Wissenschaftler am Fraunhofer FIT in Sankt Augustin bei Bonn. »Die Hardware besteht aus autarken, portablen Komponenten. Es genügt, die Batterien anzuschließen, die Antennen auszurichten, und schon ist das Netz startklar.« ■



Ein abgestimmtes Vorgehen ist im Krisenfall entscheidend, doch häufig ist die Kommunikation schwierig.



Unterwasserroboter sollen helfen, Windkraftanlagen vor Schäden zu bewahren.

Offshore-Anlagen autonom inspizieren

Die Inspektion, Wartung und Reinigung schwimmender Offshore-Energieplattformen grundlegend verbessern wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM. Im Projekt FORE-PAIR arbeiten sie gemeinsam mit Partnern an autonomen Unterwasserfahrzeugen (Autonomous Underwater Vehicle, AUV), die die Tragstrukturen von Offshore-Anlagen auch in größeren Tiefen zuverlässig erfassen und selbst unter starken Strömungen oder eingeschränkter Sicht frühzeitig Schäden erkennen können. Außerdem entwickelt das Team hochauflösende 3D-Sensoriksysteme und Digitale Zwillinge, die den Zustand der Plattformen in Echtzeit abbilden, Veränderungen automatisch detektieren und datenbasierte Wartungsentscheidungen ermöglichen. Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen untersuchen nachhaltige Schutzlösungen, die Biofouling reduzieren und damit die Lebensdauer von Anlagen verlängern. Ergänzt wird dies durch AR/VR-gestützte Werkzeuge, die es dem Wartungspersonal erlauben, Einsätze im Digitalen Zwilling realitätsnah zu planen, Abläufe zu optimieren und Reparatur- oder Inspektionsszenarien effizient vorzubereiten. ■

Impressum

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

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, Meike Grewe, Sirka Henning, Andrea Kaufmann, Dr. Monika Offenberger, Iris Röll, Kathrin Schwarze-Reiter, Mehmet Toprak, Yvonne Weiß

Layout + Litho:
Vierthaler & Braun
Titelbild und Fotografie der Titelstrecke: Heinz Heiss
Fotografie Raumfahrt:
Max Slobodda

Druck:
be1druckt GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2026

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer

www.facebook.com/fraunhoferde

www.instagram.com/fraunhofergesellschaft

www.linkedin.com/company/fraunhofer-gesellschaft

www.youtube.com/fraunhofer

Druckprodukt mit finanziellem Klimabeitrag
ClimatePartner.com/11586-2411-1003

MIX
Papier | Fördert gute Waldnutzung
FSC® C022647
www.fsc.org

Fotos: Christophe Gateau/dpa, imagean, romrodinka/beide istockphoto



Mulchfolien fördern eine üppige Ernte. Da gibt man gerne auch mal was ab.

Bedenkenlos schlemmen

Deutsche Erdbeeren bereits Anfang Mai genießen? Mulchfolien machen es möglich, belasten jedoch die Umwelt. An ökologisch verträglichen Alternativen arbeiten Forschende im EU-Projekt CELLAGRI.

Mulchfolien unterdrücken das Unkrautwachstum, reduzieren die Verdunstung und erwärmen den Boden – entsprechend häufig werden sie im Obst- und Gemüseanbau genutzt. Die europäische Landwirtschaft verbraucht jährlich mehr als 80 000 Tonnen der dünnen Kunststoffbahnen. Davon landen bis zu 30 Prozent als Mikroplastik im Boden. Der Rest wird meist auf Deponien entsorgt oder verbrannt. An biologisch abbaubaren Alternativen, die über eine hohe Funktionalität verfügen und trotzdem bezahlbar bleiben, arbeiten Forschende aus sieben europäischen Ländern im EU-Projekt CELLAGRI unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP.

In dem interdisziplinären Projekt entwickeln die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zunächst hochleistungsfähige Substrate aus verschiedenen Zellulosemischungen als Basismaterial. Eine vollständig biologisch abbaubare Oberflächenbeschichtung aus biobasierten Monomeren garantiert eine schnelle und kontrollierbare Zersetzung im Boden. Innovative mikrofluidische Strukturen, die in die Beschichtung eingeprägt werden, ermöglichen ein passives Wassermanagement. Das System leitet Wasser gezielt zu den Pflanzlöchern und soll so die Wasserzufuhr steigern. Durch eine atmosphärische Plasmabehandlung werden hydrophile und hydrophobe Bereiche erzeugt, die das Wassermanagement weiter verbessern und zudem Schimmelbildung verhindern. Ein ausgeklügelter Herstellungsprozess kombiniert Beschichtung, Mikrostrukturierung und Plasmafunktionalisierung in einem einzigen Schritt und wird im Rolle-zu-Rolle-Verfahren am Fraunhofer FEP realisiert. ■

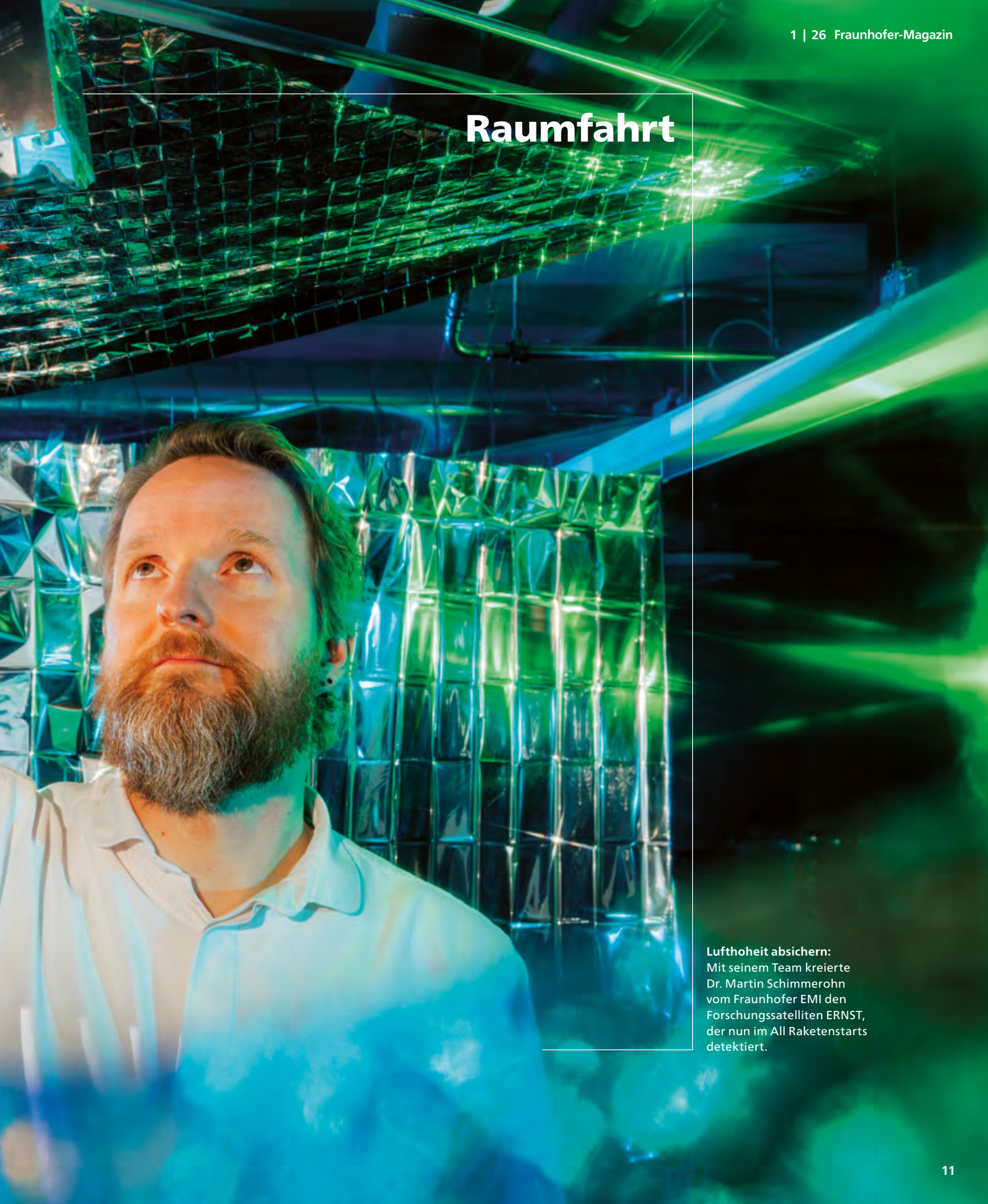
Mission Zukunft im All

Die Raumfahrt als ökonomische Chance begreifen und gestalten: Die New Space Economy gewinnt an Schwung. Die Voraussetzung für den Erfolg ist ein technologischer Paradigmenwechsel.

Von Beate Strobel; Fotograf: Max Slobodda



Raumfahrt



Lufthoheit absichern: Mit seinem Team kreierte Dr. Martin Schimmerohn vom Fraunhofer EMI den Forschungssatelliten ERNST, der nun im All Raketenstarts detektiert.

Was passierte nach dem Urknall? Wie entwickeln sich Galaxien? Und gibt es da draußen im Weltall anderes Leben? Es sind die großen Fragen der Astronomie, auf die das James-Webb-Space-Teleskop (JWST) Antworten liefern soll. Gestartet am ersten Weihnachtsfeiertag 2021, liefert es Bilder von galaktischer Schönheit. Und das – auch – dank Fraunhofer-Technologie: Am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena wurden die Spiegel hergestellt und beschichtet, mit denen MIRI ins All blickt – als Kamera und Spektrograph das einzige Gerät auf dem JWST, das den mittleren Infrarotbereich abdecken kann. Und so selbst Objekte detektiert, die von interstellarem Staub verborgen sind. Auch bei der Untersuchung der ersten Galaxien im jungen Universum ist diese Technologie eine immense Hilfe.

Die Weltraumforschung diente bislang vor allem dem Wissensgewinn. Jetzt ist eine neue Perspektive hinzugekommen: Wie lässt sich der erdnahe Weltraum kommerziell nutzen? Welche Märkte und Dienstleistungen entstehen für und durch die Raumfahrt? New Space Economy: Dieser Begriff steht für den Wandel von der staatlich geprägten Weltraumforschung hin zu einer kommerziell getriebenen. Private Unternehmen wie das von Tech-Milliardär Elon Musk gegründete SpaceX oder das von Amazon-Gründer Jeff Bezos gestartete Unternehmen Blue Origin sind mit eigenen Raketen, Satelliten und Technologien zu Innovationstreibern geworden. In Deutschland wollen Start-ups wie Isar Aerospace bei München oder die Rocket Factory Augsburg Trägerraketen und Raumfahrzeuge entwickeln.

Wirtschaftsprognosen sehen ein jährliches Wachstum von bis zu sechs Prozent für die New-Space-Ökonomie. Das interessiert auch etablierte Wirtschaftsunternehmen wie den Automobilzulieferer Brose SE: Das Familienunternehmen schloss Ende 2025 eine strategische Partnerschaft mit den Fraunhofer-Instituten für Kurzzeitdynamik EMI und für Silicatforschung ISC sowie dem BERLIN SPACE Consortium, um gemeinsam Kleinsatelliten und Schlüsselkomponenten für die Raumfahrttechnologie sowie elektrische Antriebssysteme zu entwickeln und in industriellem Maßstab herzustellen. Forschende des Fraunhofer IOF und SPACEOPTIX, einer Ausgründung des Fraunhofer IOF, kooperieren mit TESAT, einem der führenden Unternehmen für die Telekommunikation via Satellit: Im Rahmen von ScyLight, einem Programm der europäischen Weltraumbehörde ESA, haben die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ein Teleskop für Laserterminals entwickelt, das nicht nur Sende- und Empfangseinheit zugleich ist, sondern auch seriell gefertigt werden kann.

Warum Space-Technologien jetzt in Serie gehen müssen

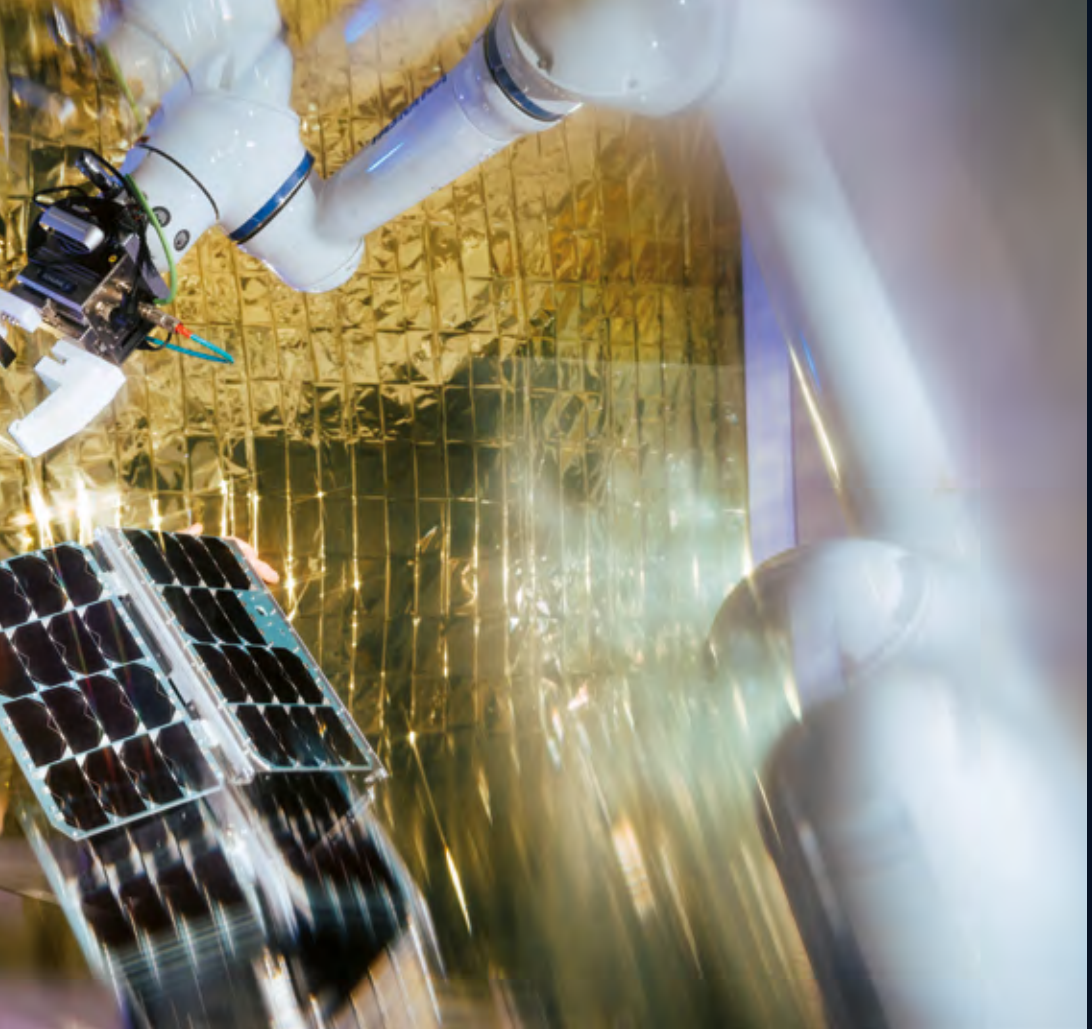
Der Sprung in die New Space Economy erfordert ein Umdenken bei Forschung und Industrie. »Die New Space Economy braucht dringend robuste, digital integrierte, kosteneffiziente und seriell fertigbare Lösungen«, erklärt Dr. Stephan Busch, Informatiker und Kleinsatelliten-Experte am Fraunhofer EMI. Innerhalb von Fraunhofer werden diese Bestrebungen durch Fraunhofer AVIATION & SPACE befeuert, einem Zusammenschluss aus 37 Fraunhofer-Instituten. Ziel ist, Wirtschaftsunternehmen einen Zugang zu Fraunhofer-Kompetenzen im Bereich SPACE zu bieten und Brücken zu bauen zwischen Industrie und angewandter Forschung. »Fraunhofer als neutraler Enabler überzeugt gerade durch seine Interdisziplinarität: In den Instituten arbeiten nicht nur Menschen, die sich mit Space Technology auskennen, sondern auch mit klassischen Themen wie Prozessoptimierung, Digitalisierung, Automatisierung, Materialentwicklung, Logistik und Supply Chain Management«, so Busch. »Kompetenzen also, die für den Industrialisierungs-Prozess, den wir für die New Space Economy brauchen, extrem wertvoll sind.«

Hierzu soll demnächst mit dem Fraunhofer NewSpace Innovations Labor (FRANSI) in Würzburg eine entsprechende Infrastruktur für agile Innovations- und Testprozesse entstehen. Geplant ist auch der Aufbau eines »Production Acceleration Center«: ein Zentrum, das vor allem dem Mittelstand die industrielle Fertigung und qualitätsgesicherte Testung im europäischen New-Space-Ökosystem erleichtern und so die industrielle Raumfahrt beschleunigen soll. Wie wichtig Kleinsatelliten für die New Space Economy sind, wird im Projekt KSaRo thematisiert, das von der Raumfahrtagentur des DLR in Auftrag gegeben wurde. Fraunhofer AVIATION & SPACE, das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT sowie das Fraunhofer EMI entwickelten dazu eine Roadmap für Kleinsatelliten-Technologien in Deutschland bis 2030. Eine Umfrage im Rahmen des Projekts zeigte klar auf, dass Unternehmen vor allem den Zugang zu geeigneten Testkapazitäten als zu komplex und kostenintensiv empfinden. Der deutsche New-Space-Sektor hat hier also noch einige Hausaufgaben zu machen.

Doch es lohnt sich: »Vor allem Kleinsatelliten sind schnell und kostengünstig



Schneller am Start: Informatiker Dr. Stephan Busch will Tempo in die Serienfertigung von Satelliten bringen.



»Die New Space Economy braucht dringend robuste, digital integrierte, kosteneffiziente und seriell fertigbare Lösungen.«

Dr. Stephan Busch, Fraunhofer EMI

produziert und lassen sich dank der geringen Masse relativ günstig in den Orbit bringen«, erklärt Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel, Wissenschaftlerin am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE und Leiterin der Geschäftsstelle SPACE. Zugleich eigneten sich Kleinsatelliten gut für den Einsatz in Satellitenkonstellationen und könnten so eine größere Abdeckung gewährleisten. Die Astrophysikerin ist überzeugt: »Die Industrialisierung der Kleinsatellitenfertigung trägt zur Demokratisierung des Zugangs zum All bei – so können sich auch kleinere Unternehmen und Universitäten eigene Raumfahrtprojekte leisten.«

Kleiner, schneller, günstiger: 2024 bildeten acht Fraunhofer-Institute und drei Industriepartner ein interdisziplinäres Konsortium, um im Projekt NET pioneer die Optimierung der Produktion und Testung von Satelliten voranzutreiben. Gefördert wurde dieses Projekt ebenfalls von der Deutschen Raumfahrtagentur des DLR. Zentral ist dabei die Idee einer digitalen Teststraße: modular aufgebaut, automatisiert betrieben und leicht zugänglich für Industrie und Forschung. »NET pioneer zeigt auf, wie sich das Testen im New-Space-Sektor durch Digitalisierung, Standardisierung, Automatisierung und Robotik, Modularisierung und Remote-Assistenz verbessern lässt«, bilanziert Stephan Busch, der mit Nadya Ben Bekhti-Winkel das Projekt leitete. Einen großen Hebel bieten etwa digitale, standardisierte Datenblätter, die den Informationsfluss zwischen Entwicklung, Test und Produktion vereinheitlichen. So können Testverfahren künftig als »Off-the-Shelf«-Produkte über digitale Plattformen bereitgestellt werden: vorkonfiguriert, standardisiert und sofort einsetzbar.

Wieso näher manchmal besser ist

Vor allem Satelliten in extrem niedrigen Umlaufbahnen (Very Low Earth Orbits, kurz VLEO) eröffnen potenziellen Akteuren in der New Space Economy spannende Optionen: Die Nähe zu unserem Planeten ermöglicht eine besonders präzise Erdbeobachtung sowie die Einrichtung leistungsstarker Kommunikationsdienste. VLEO-Satelliten umkreisen die Erde in nur 90 Minuten, sodass insgesamt weniger Satelliten benötigt werden für eine globale Abdeckung. All das prädestiniert die Technologie etwa für das Landwirtschafts- und Umweltmonitoring sowie für künftige 6G-Netze. Bonus: Objekte im VLEO werden schnell abgebremst und verglühen dann, was das Risiko von Weltraumschrott verringert.

»Der VLEO steht aktuell stark im Fokus der New Space Economy«, urteilt Nadya Ben Bekhti-Winkel. Laut Prognosen von Juniper Research werden 2030 bereits mehr als 600 Satelliten im VLEO unterwegs sein; man rechnet dort mit globalen Investitionen bis zu 220 Milliarden US-Dollar bis 2027. Allerdings sind hierfür spezielle Satelliten erforderlich, denn Sauerstoffatome und andere aggressive Teilchen im niedrigen Erdorbit nutzen das Material ▶

»Vor allem Kleinsatelliten sind schnell und kostengünstig produziert und lassen sich dank der geringen Masse relativ günstig in den Orbit bringen.«

Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel, Fraunhofer FKIE



Vision Zukunftsmarkt: Die Astrophysikerin Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel wurde gerade zur Vizepräsidentin der European Association of Space Technology Research Organisations (EASTRO) ernannt.

schneller ab. Im Projekt VLEO-Demonstrator suchen die Fraunhofer-Institute für Silicatforschung ISC und für Integrierte Schaltungen IIS gemeinsam mit dem Fraunhofer EMI sowie dem Fraunhofer IOF nach Lösungen für diese Herausforderungen. Finanziell gefördert vom Bayerischen Wirtschaftsministerium, machen die Forschenden die ersten Studien zur Satellitenkonstruktion für den VLEO, entwickeln Materialien, Tools und Testverfahren.

Mit Blick auf Kosten und Effizienz fahnden Teams an den Fraunhofer-Instituten IIS sowie INT (heute Fraunhofer FKIE) im Rahmen des ESA-Programms ARTES im Projekt SatCom Spin-In seit 2025 nach bereits existenten Technologien, die sich mit etwas Modifikation in die Satellitenkommunikationsbranche übertragen lassen. Deren Entwicklung beruhte nie ausschließlich auf raumfahrtspezifischen Innovationen, immer waren technologische Fortschritte aus anderen Industriezweigen entscheidend – insbesondere in der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik, der Halbleiter- und Mikroelektronik, der digitalen Signalverarbeitung sowie in modernen Netzwerkarchitekturen wie Software Defined Networking.

Weshalb die Raumfahrt mehr ERNST gut gebrauchen kann

Welches Potenzial Kleinsatelliten in niedrigen Umlaufbahnen haben, demonstriert ERNST. Der am Fraunhofer EMI entwickelte Miniatur-Orbiter von der Größe eines Getränkekastens umkreist seit dem 16. August 2024 die Erde. Anders als Bodenradare kann ERNST dank einer Infrarotkamera Raketen bereits beim Start detektieren. Das dient zunächst einmal der Sicherheit: »Die möglichst frühe Erkennung von Raketen ist essenziell, um gegen potenzielle Gefahren rechtzeitig Gegenmaßnahmen zu treffen«, erklärt der Wissenschaftler Dr. Martin Schimmerohn, der den Forschungssatelliten mitentwickelt hat.

Zu checken, welche Bilder ERNST geliefert hat, ist für Schimmerohn und sein Team zur geliebten Morgenroutine geworden. So beobachtete der Satellit etwa im Juli 2025 den Start einer Falcon-9-Rakete in den USA und verfolgte sie während ihres Aufstiegs – wichtige Infrarot-Daten, die bisher nicht verfügbar waren. »Wir sind bislang sehr, sehr zufrieden mit ERNST«, bilanziert der Fraunhofer-Experte stolz. Und das nicht allein, weil der Satellit so zuverlässig arbeitet. Sondern auch, weil ERNST ein exzellentes Beispiel ist für den Erfolg des New-Space-Ansatzes: Die agile Plattform wurde bewusst mit pragmatischen Lösungsansätzen schnell sowie kostengünstig entwickelt.

ERNST soll fünf Jahre lang die Erde umkreisen – viel Zeit zum Lernen und Verbessern, findet Schimmerohn. Die bisherigen Erkenntnisse fließen bereits ein in die Entwicklung des ERNST-Nachfolgers, der am Fraunhofer EMI in Kooperation mit dem Konzern Brose entstehen soll. Für Schimmerohn ist der Automobilzulieferer ein idealer New-Space-Partner: »Es ist zielführender, einem Experten in der Serien-



fertigung beizubringen, wie man Satelliten baut, als einen Satellitenproduzenten aus der ›Established Space‹-Welt auf industrielle Produktion umzustellen.« Insgesamt sei das Vorhaben das perfekte Fraunhofer-Projekt: »Spitzentechnologie möglichst schnell in die Anwendung bringen und so die Transformation der Wirtschaft vorantreiben.« Dass deren Interesse an der New-Space-Thematik groß ist, sieht der Wissenschaftler beinahe täglich: »Es herrscht Goldgräberstimmung. Und dazu beizutragen, die Raumfahrt auf das nächste Level zu bringen, ist unglaublich spannend.«

Wie Dinge im All von A nach B kommen

Auch die Logistik starte mit der New Space Economy in eine neue Zeitrechnung, urteilt Prof. Michael Henke, Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund: »Hier entsteht ein ganz neuer Wachstumsmarkt für Logistikunternehmen.« Während für die Space Economy bis 2035 eine Verdreifachung des Marktvolumens erwartet wird, gehen die Prognosen für die Space Logistics sogar von einer Verfünffachung aus. Eine Welt, in der Wertschöpfung auf das Weltall ausgeweitet wird, benötigt eine funktionierende Logistik – ob es nun um Rohstofftransport geht, um den Aufbau und die Versorgung von Raumstationen, um Betankung und Wartung von Raumfahrzeugen und Satelliten oder Mond- und Marsmissionen.

Gut positioniert hat sich hier bereits das von Airbus-Managerin Hélène Huby gegründete Unternehmen The Exploration Company (TEC) mit Standorten in Deutschland, Frankreich, Italien und den USA. Mit der Raumkapsel Nyx hat TEC ein flexibel einsetzbares, wiederverwendbares sowie kostengünstiges Logistiksystem für den Erdorbit und den Mond am Start — auch mit dem Ziel, Europa im Wettbewerb mit US-Unternehmen wie SpaceX besser zu positionieren. Das Fraunhofer IML tauscht sich regelmäßig mit der Exploration Company zur Weiterentwicklung von Nyx aus.

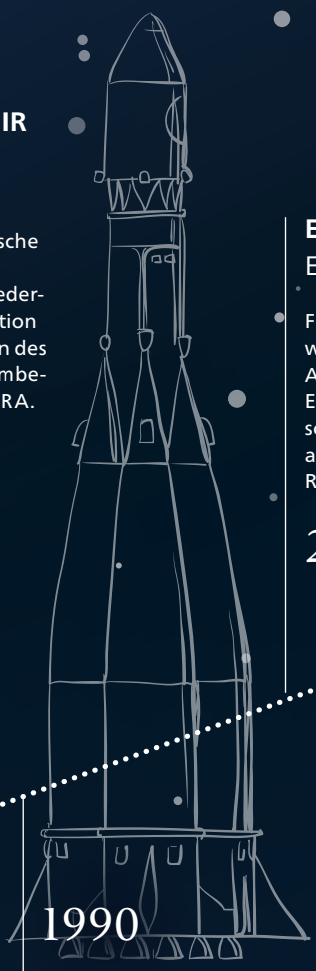
»Die Grundidee der TEC ist die eines jeden Logistikunternehmens: Transporte von A nach B zu ermöglichen«, erklärt Henke. »Mit der Besonderheit, dass B nun im Weltall liegt und seine Position ständig verändert. Und dass im Idealfall alles, was A – also unsere Erde – verlässt, entweder dahin zurückgebracht oder aber oben wiederverwendet werden sollte.« Sein Kollege Axel T. Schulte, verantwortlicher Abteilungsleiter am Fraunhofer IML für Space Logistics, ergänzt: »In der terrestrischen Logistik geht es aktuell stark um Themen wie Automatisierung und vernetzte, intelligente Logistik. Diese Ansätze der Selbststeuerung in Kombination mit KI lassen sich sehr gut auf den Weltraum übertragen. Auch dort muss vieles autonom ablaufen, da ja nicht immer Menschen vor Ort sein werden.«

Im EU-finanzierten Projekt STARFAB entwickelt ein Team am Fraunhofer IML mit internationalen Partnern aktuell ein orbitales »Warehouse«: eine Art automatisiertes Weltraum-Servicecenter zur Unterstützung von Missionen und Diensten im All durch Dienstleistungen wie Wartung, Inspektion, Betankung, Montage und Fertigung bis zum Recycling. Bereits im Sommer 2026 soll ein Demonstrator auf dem Technologie-Readiness-Level 4 bis 6 vorgestellt werden, also ein funktionierendes Modell im Labormaßstab – ergänzt durch eine Roadmap, die den Weg zur internationalen Tankstelle im All aufzeigt.

Die Herausforderung bei Projekten in der New Space Logistics, so Ingenieur Schulte, bestehe auch hier im Transfer vorhandener Technologien, Konzepte und Lösungen auf die Umgebungsbedingungen im All: Funktioniert das auch in der Schwerelosigkeit, bei extremen Temperaturen, sehr weit entfernt von Mutter Erde und ohne menschliche Hilfe? »Die Materialien, die wir auf unserem Planeten verwenden, verhalten sich im Weltraum oft anders«, ergänzt Michael Henke. Dennoch: »Wir haben schon heute die Schlüsseltechnologien in der Hand, die wertvoll sein werden für die Space Logistics – bis hin zu Token-basierten Bezahlprozessen. Wenn im Weltall Dinge angefertigt, repariert ▶

Nach den Sternen greifen

Materialentwicklung, Optik, Sensorik, Energie, Kommunikation und Navigation, Automatisierung, Digitalisierung und KI: Seit den 1980er-Jahren unterstützen Fraunhofer-Forschende die europäische und internationale Weltraumindustrie mit Innovationen aus den unterschiedlichsten Technologiefeldern – und sind so bei nahezu jeder Weltraummission »mit an Bord«.



Raumstation MIR
FHR

Das Fraunhofer FHR unterstützt die russische Raumfahrtagentur Roskosmos beim Wiedereintritt der Raumstation MIR mit Radarbildern des Fraunhofer-Weltraumbeobachtungsradars TIRA.

1986

HUBBLE
EMI

Die Forschenden des Fraunhofer EMI untersuchen Schäden durch Weltraummüll und Mikrometeoriten am Hubble-Weltraumteleskop.

1990

ENVISAT
EMI | FHR

Für die ENVISAT-Mission werden am Fraunhofer EMI Aufprallschäden durch den Einschlag von Hochgeschwindigkeitsprojektilen auf die Strukturwände des Raumfahrzeugs untersucht.

2002

Ariane 4, 5, 6
ICT | EMI

Für die Antriebseinheit der Rakete entwickelt das Fraunhofer ICT einen Sprühprozess zur Stabilisierung von Ammoniumnitrat mit Additiven. Das Fraun hofer EMI führt Aufprall-tests an Heliumtanks durch.

2007

ATV-1
FHR | INT | EMI

Nach der Abtrennung des ATV von der Raketenoberstufe können die beiden Teile (trotz nahezu identischer Umlaufbahnen) dank einer am Fraunhofer FHR entwickelten Technologie mit dem TIRA-Radar voneinander unterschieden werden. Das Fraunhofer INT führt Strahlungstests durch, das Fraunhofer EMI u. a. Aufpralltests.

2008

Galileo
EMI | IIS | INT

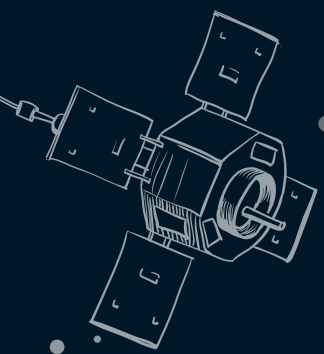
Das Fraunhofer EMI leitet die Entwicklung eines Systems für Bodenstationen. Am Fraunhofer IIS werden Galileo-Empfänger entwickelt. Das Fraunhofer INT führt Strahlungstests an Komponenten der Galileo-Satelliten durch.

2011

GAIA
EMI | IOF

Beim Fraunhofer EMI werden die Strukturschwingungen bei Hochgeschwindigkeitseinschlägen auf Raumfahrzeuge gemessen.

2013



2014

Sentinel-1
IOSB | IST | ILT | HHI | EMI

Das Fraunhofer IOSB erforscht Strategien zur Integration von Daten in permanent arbeitende Überwachungssysteme, das Fraunhofer IST stellt Antennen für die Sentinel-Satelliten her. Das Fraunhofer ILT entwickelt Laserpumpmodule und das Fraunhofer EMI Maßnahmen, um das Risiko von Komponentenausfällen durch Einschläge zu minimieren.

2018

BepiColombo
EMI | IST | IOF | INT

U. a. wird das Wärmemanagement der BepiColombo-Sonde mithilfe einer am Fraunhofer EMI entwickelten Software optimiert.

2020

NASA Mars Rover 2020
IST

Am Fraunhofer IST werden Bandpassfilter für Sensoren des Mars Rovers beschichtet.

2021

James Webb Weltraumteleskop
IOF

Forschende des Fraunhofer IOF fertigen u. a. hochpräzise Metallspiegel für das Mid-InfraRed Instrument des Weltraumteleskops.

2023

Heinrich-Hertz
INT | IIS

Der Fraunhofer On-Board-Processor (FOBP) wird am Fraunhofer IIS entwickelt und dient als Labor im Weltraum für Satellitenkommunikationssysteme auf dem Heinrich-Hertz-Satelliten.

2024

ERNST
EMI | INT | IOSB

Der Nanosatellit ERNST des Fraunhofer EMI enthält einen Infrarotdetektor, eine Kamera zur Erdbeobachtung im sichtbaren Bereich und einen am Fraunhofer INT entwickelten Strahlungsdetektor.

2025

HiVE SkyBee-1 and SkyBee-2
EMI

Das Fraunhofer EMI trägt seine Data Processing Unit (DPU) als zentralen Computer für die Nutzlast der HiVE-Satelliten bei. HiVE wird betrieben vom Fraunhofer-Spin-off constellr.

2028

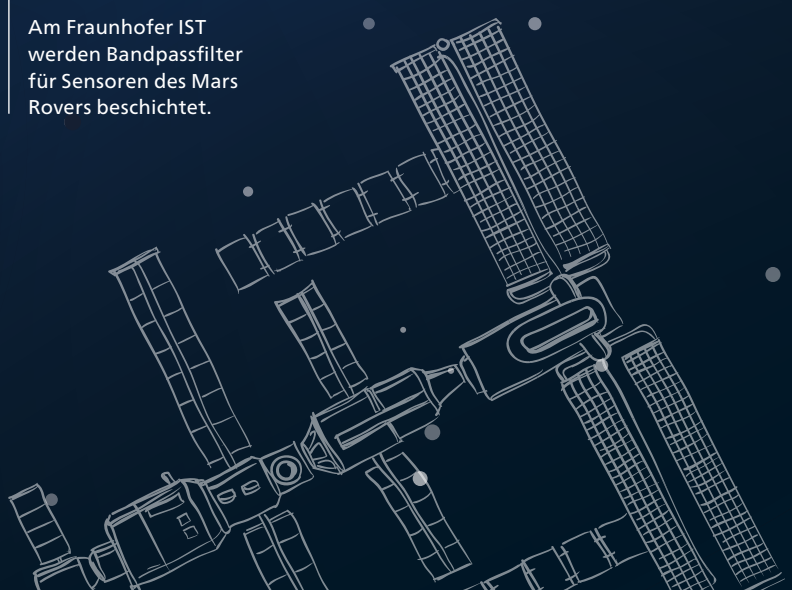
Exomars Rover
IOF | FKIE | IPA

Am Fraunhofer IPA wird ein Reinraum konzipiert, in dem der Marsrover für den zweiten Teil der geplanten Exomars-Mission in einem eigens entwickelten Verfahren sterilisiert wird.

2035

ATHENA
IWS | IWU

Das Fraunhofer IWS fertigt bereits eine optische Bank als eines der drei Hauptteile des ATHENA-Teleskops, das Fraunhofer IWU entwickelt hierfür das cyber-physikalische Produktionsverfahren.



Mehr über die Missionen mit Fraunhofer

Illustration: Vierthaler & Braun, Owljeans, Vladimir Kazakov/beide istockphoto

oder transportiert werden, muss dafür irgendwie Geld fließen. Auch damit beschäftigen wir uns am Fraunhofer IML bereits.«

Welche Rolle der Kreislauf im Weltraum spielt

Die Chancen, die in der galaktischen Ausweitung des bisherigen Logistikbegriffs liegen, bringen auch Verantwortung mit sich: »Dem Thema Kreislauffähigkeit müssen wir von Beginn an eine hohe Priorität einräumen, auch im Sinne der sich daraus ergebenden Chancen«, mahnt Schulte – egal, ob es nun ums Recycling der verwendeten Materialien geht oder um die Vor-Ort-Reparatur beziehungsweise den Rücktransport defekter Flugkörper. »Hier entstehen bereits Dienstleister, die sich ganz spezifisch mit dem Thema Weltraumschrott befassen«, erklärt der Fraunhofer-Logistiker. Deutsche Unternehmen könnten eine Vorreiterrolle einnehmen und dabei ein enormes Geschäftspotenzial erschließen. Allerdings nur, wenn sie baldmöglichst ins Tun kommen und nicht auf vordefinierte Standards warten oder durch eine überstarke Regulatorik ausgebremst werden.

Das allerdings gelte, so Henke, eigentlich für die gesamte nationale Logistik-Branche: »Deutschland ist eines der führenden Logistikländer weltweit. Gleichzeitig besteht aber hierzulande immer die Gefahr der Überregulierung.« Verbindliche Leitplanken etwa hinsichtlich Datensicherheit oder Verantwortung für Weltraumschrott seien natürlich wichtig. Doch wer nur auf die Risiken blicke, verbaue sich Chancen, die dann andere nutzen. Als Positivbeispiel führt Henke den ISO-Container an, erfunden vom US-amerikanischen Spediteur Malcolm McLean Mitte der 1950er-Jahre, um die Verschiffung von Waren effizienter zu machen: »Dieser Container wurde zum Standard ganz ohne regulatorische Vorschrift vorab.« Ähnlich müssten nun Lösungen für die Space Logistics geschaffen werden, die schnell einen echten Mehrwert bieten und sich allein deshalb als Quasi-Standard durchsetzen – etwa in Form eines nicht nur wiederverwendbaren, sondern auch intelligenten und vernetzten Standard-Weltraumcontainers.

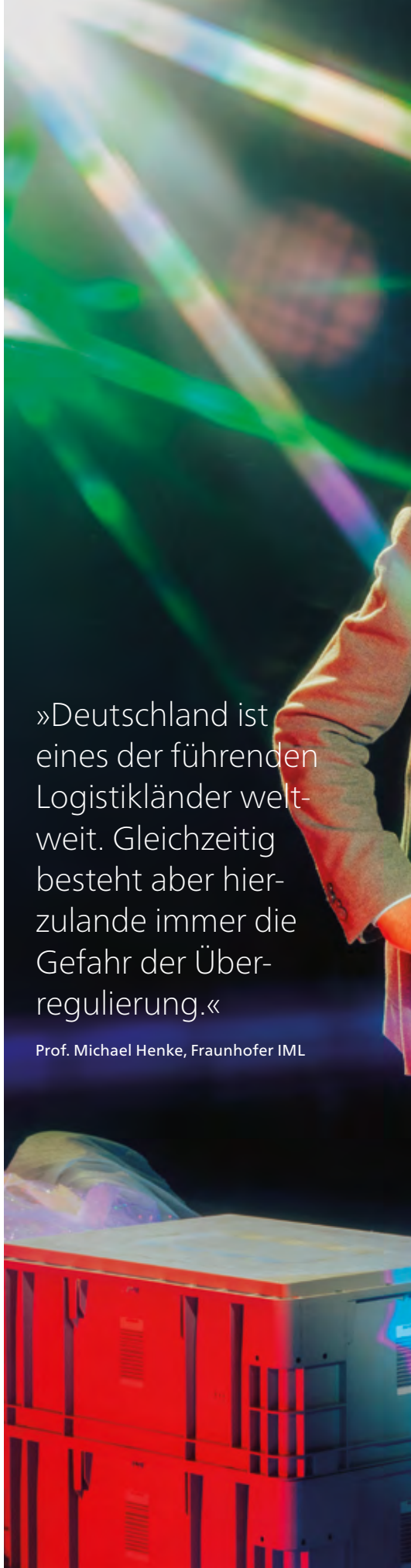
Weder Michael Henke noch Axel T. Schulte hatten den Weltraum im Blick, als sie sich für Logistik als berufliches Themenfeld entschieden. Zugleich ist deren Ausweitung in Richtung Orbit für sie der nächste konsequente Schritt. »Der Weltraum ist ein Wachstumsmarkt, den wir für die Logistik entwickeln wollen«, argumentiert Schulte. Denn: »Ohne Logistik funktioniert auch da oben nichts.«

Was sich aus Mondstaub herstellen lässt

Dr. Andreas Dietz hatte die Raumfahrt zunächst ebenfalls nur als interessierter Beobachter verfolgt. Ende der 1990er-Jahre beauftragte die Firma Airbus dann seine Gruppe am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig mit der Entwicklung einer Beschichtung von Satellitenantennen aus CFK für das Sentinel-1-Programm der ESA – für das Fraunhofer IST ein Türöffner in Richtung Weltall.

Heute befasst sich Andreas Dietz mit Weltall-Thematiken, die für die meisten Menschen noch stark nach Science-Fiction klingen: Können Menschen auf dem Mond leben – und wie lässt sich dies bewerkstelligen? »Dort oben gibt es ja nichts«, so der Elektrochemiker. Rohstoffe oder gar Geräte extra einzufliegen, sei extrem teuer, »derzeit schlägt jedes Kilogramm Payload mit mindestens 15 000 Euro zu Buche. Da wird über jedes Gramm verhandelt.«

Besser wäre es also, vor Ort verfügbare Ressourcen zu nutzen. In der Raumfahrt wird das unter dem Begriff ISRU zusammengefasst: »In-Situ Resource Utilization«. Auf dem Mond vorhanden ist vor allem Regolith – loses Gestein, das unter anderem Silizium-, Eisen-, Titan-, Aluminium- und Magnesiumoxide enthält. Doch wie lassen sich daraus Behausungen, Werkzeuge, Fahrzeuge und eine Infrastruktur herstellen? Und wo kommt die dafür benötigte Energie her? »Auf dem Mond haben wir mit 14 Tagen Helligkeit und 14 Tagen ▶





Grenzenlos liefern: Prof. Michael Henke (l.) und Dr. Axel T. Schulte, beide Fraunhofer IML, entwickeln Konzepte für die Weltraumlogistik.

»Lunare Prozesse müssen sehr robust und wartungsarm sein, quasi autonom sowie praktisch abfallfrei ablaufen, sodass Materialien komplett wiederverwertet werden können.«

Dr.-Ing. Georg Pöhle, Fraunhofer IFAM



absoluter Dunkelheit einen anderen Tag-Nacht-Rhythmus als auf der Erde«, sagt Dietz. »Sich nur auf Solarpower zu verlassen, funktioniert nicht ohne einen effizienten Energiespeicher.«

In dem DLR-geförderten Projekt »Ferrotherm« erforschte Dietz mit seinem Team und in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT Möglichkeiten, das im Regolith vorhandene Eisenoxid für eine Art Kraftwerk zu nutzen. »Denken Sie an die Wunderkerzen an Silvester«, erklärt der Wissenschaftler: »Da verbrennt auch vor allem Eisenpulver.« Das im Rahmen von Ferrotherm entwickelte Prinzip beinhaltet eine elektrochemische Reduktion von Eisenoxid. Das dabei erzeugte Eisenpulver wird zusammen mit dem gleichfalls freigesetzten Sauerstoff verbrannt. Dabei entstehen Wärme und Strom sowie festes Eisenoxid, das sich einfach aufsammeln und im nächsten Schritt erneut in Eisen und Sauerstoff zerlegen lässt. Dietz: »Die perfekte Kreislaufwirtschaft.« Ein weiterer Vorteil dieses Prozesses ist, dass kein Kohlendioxid freigesetzt wird – im Gegensatz zur Stromerzeugung mittels Kohle, Gas oder Erdöl. Das mache dieses Verfahren auch interessant für eine irdische Nutzung, urteilt Andreas Dietz. Schließlich ist Eisen das vierthäufigste Element in der Erdkruste.

Es werde aber, so Dietz, wohl noch dauern, bis Eisenkraftwerke die Menschen auf der Erde mit Strom versorgen – für die Industrie sei es aktuell einfacher und günstiger, bei der existierenden Energie-Infrastruktur zu bleiben. Doch die New Space Economy sieht er diesbezüglich als Chance: »Gerade Start-ups mit eher unkonventionellen Ansätzen können Lösungen ins Laufen bringen.« Seine Prognose: Bevor Eisenkraftwerke auf dem Mond arbeiten, werden wir diese auf der Erde sehen.

Wie Sauerstoff auf Mond und Mars entstehen kann

Tatsächlich müssen lunare Prozesse eine ganze Reihe spezieller Anforderungen erfüllen, erklärt Dr.-Ing. Georg Pöhle, Gruppenleiter Medizintechnik und funktioneller Leichtbau am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden: »Sie müssen sehr robust und wartungsarm sein, quasi autonom sowie praktisch abfallfrei ablaufen, sodass Materialien komplett wiederverwertet werden können. Deswegen wollen wir im All so wenig wie möglich mit gasförmigen oder flüssigen Medien arbeiten, da deren Kontrolle unter Weltraumbedingungen extrem schwierig ist.« Zugleich müssen Anlagen sehr kompakt und trotzdem leicht sein – und extremen Temperaturschwankungen standhalten. Auf dem Mond etwa kann es tagsüber bis zu 130 Grad Celsius warm werden, während es sich in den langen Nächten auf durchschnittlich –170 Grad Celsius abkühlt. Pöhle: »All diesen Herausforderungen gerecht zu werden und trotzdem einen hocheffizienten Prozess zu entwickeln – das sind Dinge, die uns manchmal Kopfschmerzen bereiten.«

Die Fraunhofer-Forschenden haben sich den sogenannten ROXY-Prozess vorgenommen: ein von Airbus in Koopera-



Mann für den Mond: Dr.-Ing. Georg Pöhle, Fraunhofer IFAM, erarbeitet extraterrestrische Produktionslösungen.

tion mit dem Fraunhofer IFAM und der Boston University entwickeltes Verfahren, mit dem aus Mondstaub Sauerstoff und Metalle gewonnen werden können. Dafür wird der Regolith in einem Reaktor chemisch reduziert, also Sauerstoff aus den Metalloxiden herausgelöst. Zurück bleiben reine Metalle, die etwa für die Herstellung von Tools verwendet werden können. Der ROXY-Prozess gilt als eine Schlüsseltechnologie für künftige Mondbasen, aber auch für die nachhaltige Metallproduktion auf der Erde.

Pöhle entwickelt deshalb mit seinem Team nun Mini-ROXY – eine kompakte, sehr leichte und damit mondtaugliche Version des ROXY-Prozesses. Der Demonstrator sieht aus wie ein Bienenkorb mit einer Höhe von 30 Zentimetern, einem Durchmesser von 50 Zentimetern und einem Gewicht von 36 Kilogramm. Bei der irdischen Testung von Mini-ROXY geht es nicht nur um einen automatisierten Dauerbetrieb im Mondtag und in der Mondnacht. »Da wir das extreme lunare Vakuum in unseren Laboren schwer nachbilden können, arbeiten wir unter Schutzgas. Dadurch verhindern wir, dass die Materialien mit Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff aus der Atmosphäre reagieren«, so Pöhle. Für Testungen bei geringer Gravitation können Parabelflüge genutzt werden oder auch sogenannte Gravitationsfahrstühle, die mithilfe eines kontrollierten freien Falls kurzzeitig Mikrogravitation erzeugen. Weil nicht ausreichend Mondstaub auf der Erde vorhanden ist, setzen die Forschenden Regolith-Simulanten ein, die hinsichtlich Partikelgröße, -form und mineralischer Zusammensetzung dem Original sehr nahe kommen.

Ziel ist, zunächst etwa einen Liter reinen Sauerstoff unter Mondbedingungen zu erzeugen – etwas, was bisher noch niemandem gelungen ist. Und das nicht nur, um die künftigen Mondbewohner mit Atemluft zu versorgen, sondern vielmehr, um das für Raketenstarts zwingend nötige O_2 vor Ort produzieren zu können.

Auch auf der Erde könnte Mini-ROXY von Nutzen sein, schätzt Pöhle: »Wir schauen uns in einem laufenden Projekt bereits an, ob wir das Verfahren für die Gewinnung Seltener Erden adaptieren können.« Die terrestrischen Produktionsbedingungen seien einfacher, dafür konkurriere man hier aber mit sämtlichen etablierten Prozessen hinsichtlich Kosten und Effizienz: »Ein Verfahren, das zwar eine sehr gute Umweltbilanz vorweist, aber dafür dreimal so teuer ist, wird sich nicht durchsetzen.«

Bis Mini-ROXY auf Mond oder Mars im großen Maßstab autonom Sauerstoff produziert, werden noch Jahrzehnte vergehen. Trotzdem ergibt es für Georg Pöhle wie für die anderen Fraunhofer-Forschenden Sinn, sich schon heute mit diesen Thematiken zu befassen und Lösungen für ein extraterrestrisches Leben zu entwickeln. »Jede Technologie, die wir heute nutzen, hat eine lange Vorgeschichte«, fasst es Pöhle zusammen. »Wir entwickeln jetzt die Technologien, die in der Zukunft gebraucht werden. Und profitieren auf dem Weg dahin von vielen spannenden Ideen und wertvollen Kooperationen, die unsere Gegenwart inspirieren und verbessern können.« ■

Landwirtschaftliche Helfer im All

Was nach Hightech für ferne Welten und Zukunftsszenarien klingt, hat auch Einfluss auf unseren Alltag: Entwicklungen aus der New Space Economy verbessern zunehmend das Leben auf der Erde. Dazu gehören nicht nur präzisere Satellitensysteme für ein Plus in der nationalen Sicherheit und Souveränität sowie für Navigation oder Wettervorhersagen – auch die Landwirtschaft und damit die Welternährung profitieren von Fortschritten der Raumfahrt.

Satelliten etwa werden schon lange genutzt, um Felder von hoch oben zu betrachten. Prominente Beispiele neben den Sentinel-Missionen sind der erste deutsche Umweltsatellit EnMAP und das Hyperspektralinstrument DESIS auf der Internationalen Raumstation (ISS), für die das Fraunhofer IOF hochpräzise Spiegeloptiken oder das Teleskopsystem samt Binärgitteroptik entwickelt und gefertigt hat. Abgesehen von diesen hyperspektralen Bildgebungsinstrumenten detektieren die meisten heutigen Satelliten jedoch deutlich zu wenig »Lichtfarben«. Dadurch entgehen ihnen feine Veränderungen etwa durch Nährstoff- oder Wassermangel oder durch Stressfaktoren wie Hitze oder Krankheiten.

Hier setzt das Forschungsprojekt RAINBOW an – mit einer neuen Technologie, die aus der Satellitenforschung kommt und zugleich das Potenzial hat, die Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels nachhaltiger und widerstandsfähiger zu machen. Bei RAINBOW arbeitet das Fraunhofer IOF gemeinsam mit Airbus Defence & Space, der VISTA GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST an einer neuen Generation hyperspektraler Sensorik. Das Ziel: ein extrem kompaktes, kostengünstiges Spektrometer, das selbst von kleinen Satelliten getragen werden kann – und präzise Informationen über landwirtschaftliche Flächen liefert.

Das Herzstück von RAINBOW ist ein Teleskop, das zur Demonstration eines Spektrometer-on-Chip-Konzepts eingesetzt werden kann. Ausgelegt für die Kleinserienproduktion, bietet das System trotz Miniaturisierung eine hohe Bildqualität und erreicht eine räumliche Auflösung von unter 20 Metern. Dieses Konzept ermöglicht es, sämtliche zentrale Funktionen eines Spektrometers in einem einzigen Chip zu integrieren und hyperspektrale Daten auszuwerten. »Die kompakte Hyperspektraloptik erlaubt eine genaue Untersuchung von Vegetation und Bodenmerkmalen aus dem All und ließe beispielsweise frühzeitig erkennen, ob Felder zu wenig Wasser bekommen oder eher zu viel«, erklärt Dr. Stephanie Hesse-Ertelt. Die Physikerin ist Forschungsmanagerin am Fraunhofer IOF und dort Ansprechpartnerin für Fraunhofer AVIATION & SPACE. Statt komplexer opto-mechanischer Bauteile übernehmen optische Filter die Selektion der benötigten Wellenlängen – bei gleichbleibender Qualität der Analyse. Der Hyperspektralfilter selektiert mehr als 30 spektrale Bänder zwischen 400 und 1700 Nanometern und vereint drei linear variable Bandpassfilter auf einem Glassubstrat von nur einem Zentimeter Kantenlänge – kaum größer als ein Fingernagel, aber robust und hochpräzise.

»Die Sensortechnologie, beruhend auf einem Teleskop mit integriertem Filterchip, ist ideal geeignet für Kleinsatelliten und ermöglicht skalierbare Anwendungen in zukünftigen Weltraummissionen«, urteilt Hesse-Ertelt. Über die Agrarwirtschaft hinaus könne sich das Instrument auch als wertvoll für die allgemeine Erdbeobachtung erweisen, etwa, um klimabedingte Veränderungen zu erfassen.

Mehr zu Fraunhofer AVIATION & SPACE



»Die Sensortechnologie, beruhend auf einem Teleskop mit integriertem Filterchip, ist ideal geeignet für Kleinsatelliten und ermöglicht skalierbare Anwendungen in zukünftigen Weltraummissionen.«

Dr. Stephanie Hesse-Ertelt, Fraunhofer IOF

Stimme aus der Wirtschaft



Dr. Helena Melnikov, 45, sieht eine große Gemeinsamkeit von Wissenschaft und Wirtschaft: Neugier ist für die DIHK-Hauptgeschäftsführerin »das Beste aus beiden Welten«.

Die Hoffnung heißt Neugier

Die deutsche Wirtschaft steckt in der Krise. Dabei war unser Land einst Leuchtturm von Innovation und Fortschritt. Das können wir wieder erreichen: mit neuen Ideen sowie einer engeren Zusammenarbeit zwischen Forschung und Wirtschaft.

Ein Standpunkt von Dr. Helena Melnikov, Hauptgeschäftsführerin der Deutschen Industrie- und Handelskammer (DIHK)

Neue Erfindungen und bahnbrechende Erkenntnisse sind oft die Grundlage von Wirtschaftswachstum, sie bereichern Startups genauso wie den Mittelstand und Großkonzerne. Am Anfang jeder Neuerung, jeder Weiterentwicklung und jeder neuen Technologie steht eine besondere Eigenschaft: Neugier. Sie ist die Antriebsfeder der Wissenschaft und das Lebenselixier einer leistungsfähigen Wirtschaft. Wenn Neugier in der Forschung auf neugierige Unternehmen trifft, greift das Beste aus beiden Welten ineinander: Entdeckergeist und Tatendrang. Genau diese Kombination braucht jede fortschrittliche Volkswirtschaft, um sich weiterentwickeln und im globalen Wettbewerb bestehen zu können.

Deutschland war immer ein Land der Innovationen. Die Glühbirne, das Telefon, der Dynamo und die Straßenbahn, das Motorrad und natürlich das Automobil, die Kleinbildkamera, das Fernsehen, der Computer und die Chipkarte: alles Erfindungen und Konstruktionen, die auf deutschen Pioniergeist zurückgehen – und die für enormen (wirtschaftlichen) Fortschritt sorgten. Neugier ist eine der wenigen nachwachsenden Ressourcen, über die unser Land verfügt, und wir haben sie über Jahrhunderte zu fördern und klug abzubauen verstanden. Dieses enorme Potenzial sollte gerade im Bildungssystem gehoben werden, damit sich daraus Innovationskraft entwickeln kann. So braucht es neben der nachhaltigen Förderung von MINT-Bildung auch mehr Unterstützung für lebenslanges Lernen sowie ein leistungsfähiges Hochschulsystem.

Allerdings sehen sich die Neugierigen und Fortschrittsbegeisterten hierzulande mit immer neuen Hemmnissen und Rückschlägen konfrontiert. Die Wirtschaft wächst nicht mehr, mittlerweile schon das dritte Jahr in Folge. Die Investitionen kommen nicht in Schwung. Laut DIHK-Konjunkturumfrage wollen gerade einmal 19 Prozent der Unternehmen in die Kapazitätserweiterung investieren. Das ist der niedrigste Wert für dieses Investitionsmotiv seit 2003. Auch die Investitionspläne für Produktinnovationen fallen unterdurchschnittlich aus. So kann Deutschlands Weg zurück an die Spitze von Fortschritt und Innovation nicht gelingen.

Bürokratie und Auflagen tun ihr Übriges, qualifizierte Fachkräfte sind Mangelware, Talente wandern ins Ausland ab. Die deutsche und europäische Gesetzgebung bremst innovative Technologien oft aus, noch bevor sie sich entwickeln und ausreifen können. Die Risikobereitschaft in Politik und Gesellschaft nimmt ab. Aufregende Neuerungen kommen mittlerweile häufig aus den USA und China, gerade jene für die Zukunftsmärkte wie KI, Elektromobilität und Kommunikationstechnologie. In den Branchen, in denen Deutschland noch Weltspitze ist, wird der Wettbewerb stärker.

Damit neue Arbeitsplätze entstehen können und unser Wohlstand erhalten bleibt, ist es wesentlich, dass die Ergebnisse heimischer Forschung und Entwicklung auch im eigenen Land zur Anwendung kommen. Durch das enge Zusammenspiel von Forschung und Wirtschaft öffnet sich einer der Wege, die zu erneuter wirtschaftlicher Prosperität führen können. Beschreiten wir ihn voller Neugier! Gegenüber der Politik treten wir für die Schaffung von Freiräumen und ein innovationsfreundliches Umfeld ein, damit Unternehmen künftig wieder intensiver tüfteln, ausprobieren und weiterentwickeln können. Neben bürokratischen Entlastungen im Innovationsprozess sind Reallabore ein vielversprechendes Instrument. Sie bieten den Betrieben (und den Kooperationspartnern aus der Wissenschaft) eine niedrigschwellige Möglichkeit, Innovationen unter erleichterten regulatorischen Bedingungen schneller voranzubringen und dadurch neue Produkte »Made in Germany« zu schaffen.

Der konsequente Schulterschluss zwischen Wirtschaft und Wissenschaft führt dazu, dass disruptive Ideen, leistungsfähige Verfahren und neuartige Dienstleistungen wieder zu unserer Stärke werden können. Die IHK-Organisation steht dieser Partnerschaft mit Tatkraft zur Seite: 140 Innovations- und Technologieberater bauen Brücken zwischen Unternehmen und Forschung, stellen ihr breites Know-how zu aktuellen Entwicklungen und Innovationen zur Verfügung und unterstützen die Betriebe beim Technologietransfer.

Für einen echten Aufbruch werden neben guten Standortbedingungen nicht nur Mut und ein neuer Aufbruchsgeist benötigt, sondern vor allem etwas, das für Wissenschaft und Unternehmertum gleichermaßen die Grundlage bildet: die Freiheit, der produktiven Neugier freien Lauf lassen zu können. Wer kann und will, der muss auch dürfen! ■

»140 Innovations- und Technologieberater bauen Brücken zwischen Unternehmen und Forschung.«

Dr. Helena Melnikov

- ist seit Januar 2025 Hauptgeschäftsführerin der Deutschen Industrie- und Handelskammer. Die DIHK versteht sich als Interessenvertreterin von mehr als drei Millionen Unternehmen in Deutschland und ist die Dachorganisation der 79 Industrie- und Handelskammern.
- wuchs bis zum achten Lebensjahr in Usbekistan auf. Nach der Übersiedelung mit ihrer Familie machte sie Abitur in Recklinghausen und studierte Jura in Köln und Bremen. 2009 promovierte sie im Wirtschaftsrecht zum Doktor der Rechte.
- wechselte nach dem Berufsstart als Justiziarin bei der Neelsen Agrar GmbH als Abteilungsleiterin zum Bundesverband Großhandel, Außenhandel, Dienstleistungen e.V. (BGA).
- absolvierte weitere Berufsstationen als Hauptgeschäftsführerin Waren-Verein der Hamburger Börse e.V. und als Hauptgeschäftsführerin und Vorstand beim Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME).

Foto: Werner Schüring/DIHK

Tue Gutes – und spare dabei!

Dekarbonisierung als Business-Chance: Mit maßgeschneiderten Roadmaps zu Klimastrategien, die sich auszahlen – für die Umwelt und das Unternehmen.

Von Beate Strobel

»In der Dekarbonisierung stecken für KMU wie Großkonzerne echte Chancen, nicht nur Kosten zu senken, sondern auch neue Märkte und Kunden zu gewinnen.«

Michael Rentschler, Fraunhofer IPA

Der Wille ist da: Nahezu jedes der größten börsennotierten Unternehmen in Deutschland (90 Prozent) macht bereits seine direkten und indirekten Treibhausgas-Emissionen transparent; mehr als 66 Prozent haben es sich als Ziel gesetzt, die Scope-1- und Scope-2-Emissionen langfristig zu senken. Und gut ein Drittel plant sogar eine Reduktion der Treibhausgase, die indirekt in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette der Organisationen auftreten (Scope 3). Das ergab die Dekarbonisierungsstudie 2024, für die der Wirtschaftsprüfer KPMG die Nachhaltigkeitsberichte der 160 größten Unternehmen aus DAX, MDAX und SDAX analysiert hat.

Was die Studie allerdings auch verrät: Mehr als die Hälfte der befragten Firmen (57 Prozent) läuft ihren selbst gesetzten Zielen hinterher. 63 Prozent wagen aktuell keine Prognose, bis wann sie klimaneutral oder emissionsfrei sein werden. Der Wille allein reicht eben nicht aus – auch der Weg zur Netto-Null muss klar sein.

Wissenschaftliche Navigationshilfe in Richtung Klimaziele: Das Berliner Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK unterstützte bereits 2024 in dem Projekt KliMaWirtschaft kleine und mittelständische Unternehmen dabei, ihre CO_2-Emissionen mithilfe eines ganzheitlichen Klimaschutzmanagements messbar zu reduzieren. »Mehr als 300 kleine und mittelständische Firmen haben sich in den drei Projektjahren beteiligt und mit Klimamanagementlösungen auseinandergesetzt«, berichtet Felix Budde, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsfeld Unternehmensmanagement am Fraunhofer IPK und Experte für den Schwerpunkt Nachhaltiges Wirtschaften und Nachhaltigkeitsmanagement. Eines der Ergebnisse des Projekts ist eine nun online frei zugängliche Toolbox (www.klimaschutz-wirtschaft.de/klimaschutztoolbox), die mehr als 90 Einzelmaßnahmen beinhaltet und KMU damit hilft, passgenaue Lösungen für die eigene Klimastrategie zu entwickeln.

Es geht aber auch eine Nummer größer. Das hat Fraunhofer-Forscher Felix Budde in einem neuen Projekt gezeigt: In Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und für Schicht- und Oberflächentechnik IST beriet er einen international tätigen Elektrogeräte-Hersteller bei der Entwicklung einer Dekarbonisierungsstrategie für die gesamte Wertschöpfungskette. »Zum Start des Projekts hatte der Industriekonzern bereits einige Einzelmaßnahmen identifiziert und umgesetzt, etwa die Einführung einer energieeffizienteren Produktklasse oder die Nutzung nachhaltigerer Halbzeuge«, erklärt Budde. »Eine ganzheitliche Strategie auf Basis praxisnaher und belastbarer Daten fehlte jedoch.« Ein Status also, der in vielen Unternehmen aktuell Realität ist.

Was ist das Besondere, wenn ein Konsortium aus drei Fraunhofer-Instituten einem Unternehmen den Weg in die Dekarbonisierung aufzeichnet? »Vermutlich unsere wissenschaftlich geprägte und dadurch sehr strategisch-analytische Vorgehensweise«, urteilt Felix Budde. In dem Projekt identifizierten die Forschenden nicht nur passgenaue Maßnahmen, sondern berechneten vor allem auch die Kosten für eine Emissionsvermeidung: Wie wird die Nutzung einer Technologie mit geringerem CO_2-Ausstoß zu Buche schlagen? Die bereits gestarteten Einzelmaßnahmen hätten hier stark zur Komplexität des Projekts beigetragen, urteilt Michael Rentschler, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsteam Sustainability Modeling and Analytics am Fraunhofer IPA: »Wir mussten in der Validierungsphase nicht nur die schon erhobenen Daten auf Normkonformität prüfen, sondern auch die bereits getätigten Maßnahmen hinsichtlich Effektivi-

tät und Effizienz bewerten.« Anschließend wurden die Kosten in sogenannten Vermeidungskostenkurven (Marginal Abatement Cost Curves, MACCs) dargestellt und miteinander verglichen: Wo profitiert nicht nur die Umwelt durch eingesparte Treibhausgase, sondern auch das Unternehmen finanziell?

Starten sollte der Konzern, so der Rat der Forschenden, mit jenen Maßnahmen, die eine besonders hohe Effizienz aufweisen. Konkret ging es dabei etwa um mögliche Materialeinsparungen, denn Metalle oder Kunststoffe, die gar nicht erst produziert werden müssen, sparen besonders wirkungsvoll Emissionen und Kosten ein. Aber auch Materialsubstitution spielt eine wichtige Rolle, etwa der Einsatz von emissionsreduziertem Stahl oder Sekundäraluminium. Auch für die bislang verwendeten Kühlmittel in den produzierten Elektrogeräten präsentierte das Fraunhofer-Team Alternativen mit geringerem Treibhauseffekt. Hier zeige sich ein weiterer Vorteil von Fraunhofer als wissenschaftlicher Partner für die Dekarbonisierung, betont Michael Rentschler: »In den 75 Fraunhofer-Instituten gibt es Expertinnen und Experten für nahezu jede technische Frage und jeden industriellen Prozess – und wir sind extrem dicht dran an Innovationen etwa im Materialbereich.«

Auch die Transportfrage wurde gestellt: Wie kommen die Rohstoffe in die Herstellung und wie das Endprodukt zum Kunden? »Wir haben gemeinsam identifiziert, an welchen Punkten der Lieferkette beispielsweise Schiffe eine Luftfracht ersetzen könnten – und an welchen Stellen das keinen Sinn ergibt, da der Abnehmer dann vielleicht zu lange auf die Ware warten müsste«, erläutert Rentschler. Selbst Empfehlungen für großzügigere Homeoffice-Regelungen umfasste der Maßnahmenkatalog, um Emissionen aus dem Pendelverkehr zu managen.

Inzwischen sitzen die Fraunhofer-Forschenden bereits am nächsten Beratungsfall, sie entwickeln eine Dekarbonisierungsstrategie für die brasilianische Stahl- und Zementindustrie. Ihre Hoffnung ist, dass sich langfristig der Ansatz durchsetzt, Klimamanagement als Business Case zu betrachten und Klimaschutzmaßnahmen als eine ökonomische Option zu sehen. Denn: »In der Dekarbonisierung stecken für KMU wie für Großkonzerne echte Chancen, nicht nur Kosten zu senken, sondern auch neue Märkte und Kunden für sich zu gewinnen«, betont Michael Rentschler. Und Felix Budde ergänzt: »Wir wollen Unternehmen helfen, diese Möglichkeiten für sich zu entdecken – stets unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Machbarkeit und betrieblichen Realität.« ■

Mehr über den Fraunhofer-Ansatz zur Entwicklung von Dekarbonisierungsstrategien:



Springender Punkt in der Dekarbonisierung ist etwa der Ersatz fossiler Rohstoffe wie Erdöl.

Foto: peterschreiber.media/istockphoto

Im Wettlauf mit der Korrosion



Zwei Weltkriege haben in Nord- und Ostsee ihre Spuren hinterlassen. Bomben, Minen und Granaten verrotten, immer mehr toxischer Sprengstoff entweicht. Wie Fraunhofer-Forschende helfen, sie schnell zu finden.

Von Dr. Sonja Endres

Die rostigen Masten der »Richard Montgomery« ragen vor dem britischen Küstenörtchen Sheerness hoch aus dem Wasser. In einem Sturm war der US-amerikanische Munitionsfrachter 1944 in der Themsemündung auf eine Sandbank gelaufen und auseinandergebrochen. Seine Fracht ist bis heute größtenteils nicht geborgen: etwa 9000 Sprengkörper, darunter mehr als 2500 Streubomben – und 286 sogenannte Blockbuster-Bomben, die mehrere Tonnen schwer sein können.

In Sheerness wird sichtbar, was normalerweise unter der Wasseroberfläche verborgen bleibt. Auf dem Grund der Ost- und Nordsee verrotten rund 1,6 Millionen Tonnen Altmunition, versteckt in Wracks oder unter Schlick, zu Haufen aufgetürmt oder einzeln auf dem Meeresboden verstreut. Das explosive Erbe aus zwei Weltkriegen bedroht nicht nur das maritime Ökosystem, sondern auch Menschen und Infrastruktur. Die Bergung wird immer schwieriger, weil die Munitionshüllen verrosten und brüchig werden. Giftige Substanzen und teils krebserregende Stoffe treten aus, darunter TNT, Senfgas, weißer Phosphor oder Quecksilber.

Doch bevor die tickenden Zeitbomben aus dem Wasser geholt und entsorgt werden können, muss man sie erst mal finden. Smarte Sensoriken sollen den Meeresgrund möglichst schnell durchsuchen und Munition mit einer hohen Genauigkeit identifizieren. Wenn sich ihre schützende Ummantelung erst einmal vollständig zersetzt hat, ist es kaum noch möglich, Granaten, Minen und Co aufzuspüren. Experte Sascha Krohmann warnt: »Wir müssen die Suche dringend effizienter gestalten, indem wir die Flächenleistung deutlich steigern, also mehr Fläche pro Zeit erfassen.«

Einzigartiges Testgelände unter Wasser

Der Marine-Ingenieur leitet das etwa 1000 Fußballfelder große »Digital Ocean Lab«, ein einzigartiges Unterwassertestfeld des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD, gelegen in der Ostsee vor der Küste von Nienhagen bei Rostock. Hier erproben Sensorhersteller, Forschungseinrichtungen und Bergungsunternehmen ihre neuesten Technologien und die Einsatzfähigkeit ihrer Systeme unter Wasser. Dafür stehen zwei sogenannte UXO-Gärten bereit, einer küstennah, einer in tieferem Gewässer. UXO steht für »Unexploded Ordnance«, also nicht explodierte Kampfmittel. Auf und im Meeresboden verteilt liegen hier Munitionsattrappen, aber auch echte entschärfte Bomben oder Minen, die das Fraunhofer IGD von Munitionsräumungsdiensten und der Bundeswehr zur Verfügung gestellt bekommen hat. Störobjekte sollen das Gelände möglichst realitätsnah gestalten und die getesteten Sensoren zusätzlich herausfordern. Krohmann und sein Team bieten verschiedene Unterwasserfahrzeuge, Tauchroboter und von



Toxisch und explosiv: Um das Wrack der »Richard Montgomery« müssen Schiffe in der stark befahrenen Themsemündung einen großen Bogen machen.

Foto: Krisztian Elek/ZUMAPress/dpa

Schiffen geschleppte Geräteträger an, in die sie die Sensoriken integrieren. Krohmann: »Wir unterstützen mit unserer Infrastruktur und unserem Know-how, damit die Systeme möglichst schnell im Wasser getestet werden können. Das spart Zeit und Geld.«

Sein eigenes Gefährt zur Erprobung mitgebracht hatte das »Bionic RoboSkin«-Team. Die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM testeten gemeinsam mit ihren Projektpartnern, dem Robotik-Unternehmen EvoLogics und dem Bergungsbetrieb Baltic Diver, einen flexiblen, autonomen Unterwasserroboter, der aussieht wie ein Manta-Rochen und sich auch so bewegt. Mit seinen breiten Flügelflächen gleitet er über den Meeresboden. Darin integriert ist eine stark miniaturisierte, druckbeständige Sensorik aus dem Fraunhofer IZM, die eine Kartographierung des Geländes erlaubt und Metall aufspüren kann. Marcus Voitel, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IZM: »Das Prinzip ist das gleiche wie bei einem Metalldetektor, den man für die Suche nach vergrabenen Münzen nutzt.« Die Sensoren detektieren im Schlamm verborgene Objekte bis zu einer Tiefe von 50 Zentimetern. Die Module sitzen wie Knöpfe auf den Flügeln des robotischen Manta-Rochens, jeder umgeben von einem kleinen Gehäuse. Sie sind flexibel austauschbar, je nach gewünschter Mess-Funktionalität.

Seine Wendigkeit ermöglicht es dem Manta-Rochen, auch enge und schwer erreichbare Stellen zu erkunden. Mit einem ganzen Schwarm könnte der Meeresboden großflächig autonom gescannt und ferromagnetische Objekte aufgespürt werden. »Dann weiß man allerdings noch nicht: Hat da jemand seinen alten Eisenträger entsorgt oder liegt dort tatsächlich Munition?«, bemerkt Voitels Kollege Karl-Friedrich Becker. »So hat man aber zumindest einen Anhaltspunkt, wo man suchen sollte. Um ein besseres Lagebild zu bekommen, müssen weitere Datenquellen und Technologien hinzugezogen werden.«

Auf dem Grund der Ost- und Nordsee verrotten rund **1,6 Millionen t** Altmunition.

Zum Beispiel innovative elektrochemische Sensoren aus dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe. Sebastian Geiger, Sensorsystemtechniker: »Ich vergleiche unser System gerne mit einem Spürhund, der unter Wasser Sprengstoff erschnüffeln kann.« Ein verdächtiger Fund ließe sich so schnell überprüfen. Die elektrochemische Nase ist ▶



Mit dem robotischen Manta-Rochen auf Bombensuche machte sich ein Team des Fraunhofer IZM.

»Unter Wasser haben wir ähnlich große Anforderungen an die Sensorik wie im Weltraum, vielleicht sogar noch größere.«

Sebastian Geiger, Fraunhofer ICT

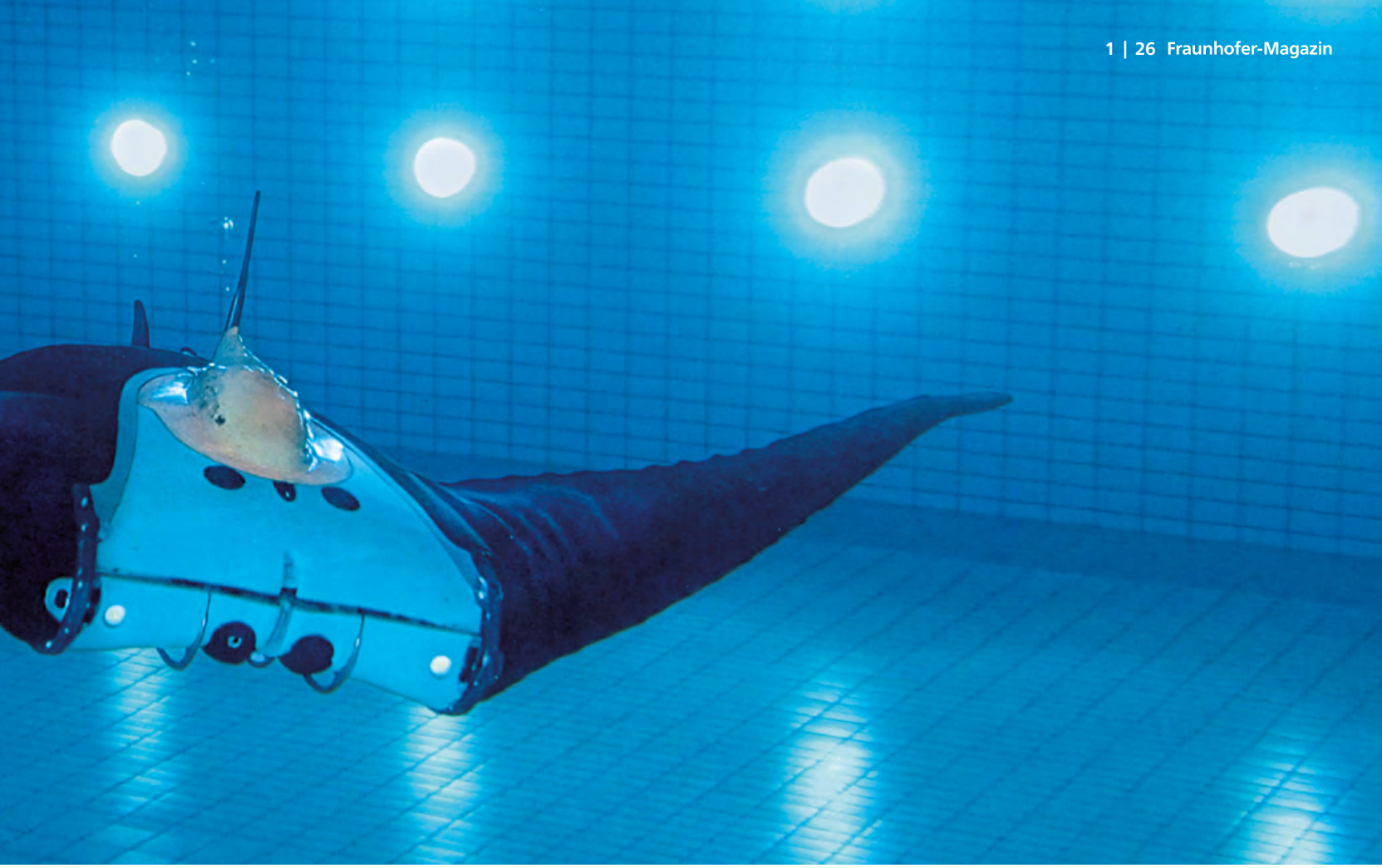
zurzeit noch auf einem Rover montiert, einem ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug. Sie kann aber auch auf autonomen Tauchrobotern wie dem Manta-Rochen angebracht werden und dort die vorhandene Sensorik ergänzen. Um möglichst viel davon auf einem Trägersystem unterbringen zu können, muss sie so klein wie möglich sein – und dennoch äußerst robust. Geiger: »Unter Wasser haben wir ähnlich große Anforderungen an die Sensorik wie im Weltraum, vielleicht sogar noch größere.« Salzwasser ist korrosiv, darin schwimmen Schwebstoffe, die die Elektrodenoberflächen verschmutzen und Leitungen verstopfen können, es gibt zum Teil starke Strömungen, die Druck- und Temperaturschwankungen sind hoch.

Trotzdem konnte das Sensorsystem aus dem Fraunhofer ICT im Praxistest in der Kieler Bucht überzeugen. Hier, nur zwei Kilometer vom Badestrand des Ostsee-Erholungsgebietes Heidkate entfernt, beginnt eines der größten offiziell ausgewiesenen Munitionsversenkungsgebiete. In der »Kolberger Heide« wurden nach dem Zweiten Weltkrieg massenweise Minen, Granaten, Bomben und Kleinmunition entsorgt – die deutschen Waffenbestände sollten möglichst schnell und irreversibel unbrauchbar gemacht werden. Geiger berichtet: »Der Meeresboden ist über etwa 1200 Hektar mit Munition verseucht.« Mit ihrem Rover steuerten die Forschenden im Sperrgebiet systematisch Minen an. Dabei sei wichtig, so Geiger, dass sich die elektrochemische Nase, die vorne am Unterwasserfahrzeug installiert ist, gegen die Strömung dem Zielobjekt nähert. »Ein Spürhund riecht ja auch am besten, wenn der Geruch mit dem Wind an ihn herangetragen wird.«

TNT unter Wasser erschnüffeln

Für die chemische Analyse nutzen Geiger und sein Team die Methode der zyklischen Voltammetrie. Geiger: »Viele Stoffe haben ihren eigenen elektrochemischen Fingerabdruck. Mit der zyklischen Voltammetrie kann man ihn lesen.« Dafür legen die Forschenden an die Wasserprobe, die automatisch in den Sensorkopf gepumpt wird, eine sich stetig verändernde elektrische Spannung an und messen gleichzeitig hochgenau den Strom. Chemische Substanzen können durch elektrische Spannungen dazu gebracht werden, Elektronen abzugeben oder aufzunehmen. Je mehr Elektronen hin- und herwandern, desto stärker der Strom. Die gemessene Strom-Spannungs-Kurve ist für den Stoff charakteristisch.

Die elektrochemische Nase detektiert TNT und andere bekannte militärische Hochleistungssprengstoffe wie RDX oder HMX bis zu wenigen Mikrogramm pro Liter. Das Gerät kann über zwölf Stunden etwa alle fünf Minuten eine Probe nehmen, ohne zwischendurch auftauchen zu müssen. Geiger: »Damit wäre es also möglich, größere Gebiete unter Wasser abzufahren und an verschiedenen Messpunkten zu



kontrollieren.« Zurzeit arbeitet das Forschungsteam daran, die Sensitivität der Sensorik weiter zu steigern.

Allerdings kann der elektrochemische Spürhund nur dann anschlagen, wenn die Sprengstoffe bereits entweichen und im Wasser auffindbar sind. Geiger: »Es ist wie beim menschlichen Körper: Man braucht nicht nur den Geruchssinn, sondern weitere Sinne wie beispielsweise das Gehör, also Sonar, um die Situation besser zu erfassen.«

Sascha Krohmann, Fraunhofer IGD, ergänzt: »Die Schallwellen eines Sonars werden im Wasser sehr gut transportiert. Wenn sie stark genug sind, können sie sogar in den Boden eindringen.« Treffen sie dabei auf Objekte, werden die akustischen Wellen reflektiert und mit Unterwassermikrofonen, sogenannten Hydrofonen, wieder aufgefangen. Anhand der Stärke und der Form des Echos lassen sich je nach verwendeter Frequenz Lage, Material, Größe oder Oberflächenstruktur des Objekts ableiten.

Zurzeit testen Krohmann und sein Team gemeinsam mit dänischen Partnern unter anderem ein extrem leistungsstarkes Seitensichtsonar – dieses Mal nicht in den UXO-Gärten, sondern vor der dänischen Küste. Es ist in einem innovativen Gerät mit zahlreichen anderen Sensoren verbaut, das von einem Spezialschiff über den Meeresboden geschleppt wird. Krohmann: »Mit diesem Sonar schaffen wir es, vom Schiff aus zu jeder Seite rund 200 Meter hochauflösend zu gucken – doppelt so weit wie mit herkömmlichen Geräten.« Kombiniert wird es mit einem Multibeam-Echolot, mit dem die Forschenden vor jeder Suchaktion den Meeresboden großflächig kartieren und bereits grob größere Objekte und Hügel im Sediment erkennen können. Das Subbottom-Sonar ermöglicht schließlich den Blick in den Boden – ebenso wie ein Magnetometer, das die Sonar-Systeme ergänzt, weil es magnetische Objekte auch hinter Hangkanten oder in trübem Wasser entdeckt, wo Sonarbilder oft schwer interpretierbar sind.

Krohmann: »All diese Daten, die wir hier sammeln und auch schon bei uns in den UXO-Gärten gesammelt haben, wollen wir zusammenführen und auswerten, um die Anzahl der verdächtigen Objekte bestmöglich einzugrenzen.« Helfen sollen dabei KI-gestützte Analysetools, die in Zukunft nicht nur erkennen könnten, ob geräumt werden muss, sondern auch, um welche Art von Granate oder Mine es sich handelt, wie stark sie beschädigt ist, oder ob sie noch detonieren kann. Von rund 20 Prozent der Munitionsaltlasten konnten Krohmann und sein Team bereits 3D-Bilder erstellen, mit denen sie ihre KI-Modelle trainieren. Die Bilder zeigen auch, wie sich die Munition verändert, wenn sie korrodiert oder bereits Teile fehlen. Krohmann: »Je mehr Daten wir haben, desto treffsicherer werden wir – und desto schneller können wir unsere Meere von den giftigen und gefährlichen Altlasten befreien.« ■

Foto: EvoLogics GmbH

Gäbe es Fraunhofer nicht, man müsste es erfinden

Die Fraunhofer-Gesellschaft würdigt 2026 Joseph von Fraunhofers 200. Todestag. Auf Initiative der Deutschen UNESCO-Kommission soll an den Namensgeber der Fraunhofer-Gesellschaft auch im Rahmen eines Gedenkjahres erinnert werden. Dies bietet uns die Gelegenheit, um den Blick aus der Tradition heraus nach vorne zu richten und die Frage zu stellen: Was braucht Deutschland, damit aus Wissenschaft Wertschöpfung entsteht und wir international konkurrenzfähig bleiben?



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

Joseph von Fraunhofer entsprach nie dem klassischen Bild eines Wissenschaftlers. Er war Handwerker und Unternehmer, ein Praktiker, der Erkenntnisse umsetzt. Er entwickelte optische Instrumente, weil sie gebraucht wurden. Forschung und Markt standen für ihn immer in engem Zusammenhang. Genau das ist der Ansatz, der das Selbstverständnis der Fraunhofer-Gesellschaft bis heute prägt. Wir übersetzen Forschung unter Wettbewerbsbedingungen systematisch in Technologien für den Markt, im engen Schulterschluss mit Unternehmen und der öffentlichen Hand. In einer Zeit, in der Deutschland seine Innovationskraft nicht verliert, aber an Geschwindigkeit in der Umsetzung gewinnen muss, ist das kein Selbstzweck. Es ist ein wesentlicher Standortfaktor.

In diesem Sinne steht Fraunhofer für mich für mehr als eine Person und eine Forschungsorganisation. Der Name ist fest verbunden mit einer Haltung und dem Anspruch an sich selbst, wissenschaftliche Neugier nicht als Selbstzweck zu verstehen, sondern sie zielgerichtet für Nutzen, Wirkung und Fortschritt einzusetzen. Er steht für die Überzeugung, dass Erkenntnis ihren Wert erst dann voll entfaltet, wenn sie die Gesellschaft erreicht und der Gesellschaft dient. Da sind die Fragen, die unseren Namensgeber vor mehr als 200 Jahren umtrieben, hochaktuell: Wie wird aus Erkenntnis Nutzen? Wie wird aus Wissen Wertschöpfung? Und wie organisiert man Forschung so, dass sie unserem Wirtschaftsstandort und unserer Gesellschaft dient?

Aus Verantwortung für unsere Zukunft

Ich bin überzeugt: Wenn es Fraunhofer nicht gäbe, man müsste eine solche Einrichtung erfinden. Nicht aus Ehrfurcht vor der Vergangenheit, sondern aus Verantwortung für die Zukunft.

Das konsequente Umsetzen wissenschaftlicher Erkenntnisse in konkrete Anwendungen für Wirtschaft und Gesellschaft findet sich heute wieder im einzigartigen »Fraunhofer-Modell«. Es ist das Alleinstellungsmerkmal der Fraunhofer-Gesellschaft im ausdifferenzierten deutschen Wissenschaftssystem. Im Unterschied zu den anderen, fast komplett aus der staatlichen Grundfinanzierung ausgestatteten außeruniversitären Forschungseinrichtungen erhält die Fraunhofer-Gesellschaft nur maximal ein Drittel ihres Haushalts als Grundfinanzierung und muss mindestens zwei Drittel ihres Finanzvolumens aus Aufträgen aus der Wirtschaft sowie von öffentlichen Auftraggebern selbst erwirtschaften.

»Joseph von Fraunhofer inspiriert mich in meiner täglichen Arbeit, weil sein Lebensweg – vom einfachen Glasschleifer zum visionären Forscher und erfolgreichen Unternehmer – eindrucksvoll zeigt, wie wissenschaftliche Spitzenleistungen und marktorientiertes Handeln nahtlos ineinandergreifen. Diese Verbindung von Entdeckergeist und Wertschöpfung prägt unser Selbstverständnis bei der Fraunhofer-Gesellschaft bis heute und ist mir täglicher Ansporn.«

Wir bei Fraunhofer bewegen uns bewusst in einem wirtschaftlichen Umfeld. Das fördert unternehmerisches Denken und Handeln. Das garantiert auch kontinuierlich bedarfsorientierte Lösungen für die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen von heute und morgen – ganz im Sinne unseres Namensgebers, der Erkenntnis als Ausgangspunkt eines erfolgreichen Weges hin zu marktfähigen Produkten, Verfahren und Standards verstand.

Wer seine angewandte Forschung jeden Tag im Wettbewerb messen muss, entwickelt ein Gespür für Anwendung, Tempo und Anschlussfähigkeit: Erfolgreicher

Transfer, das Rückgrat unseres Innovationssystems, ist unser Kerngeschäft und macht uns aus.

Wir erleben eine Zeit, in der sich technologische, geopolitische und ökonomische Herausforderungen zusehends verdichten, sich Innovationszyklen rapide beschleunigen und der Wettbewerb härter wird. Unternehmen rufen nach Geschwindigkeit, die Politik verlangt nach Wirksamkeit, die Gesellschaft braucht Lösungen.

Wir haben auch Grund zum Optimismus

Ja, in manchen Bereichen hat Deutschland noch Aufholbedarf, doch wir haben auch große Stärken und allen Grund für Optimismus, wenn wir es schaffen, unsere Ideen und Fähigkeiten effizient, effektiv und schnell in greifbaren Nutzen zu wandeln.

Um als Volkswirtschaft aufzuholen und voranzukommen, braucht es einen engen Schulterschluss zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Es braucht auch Rahmenbedingungen, die Geschwindigkeit, Investitionen und Mut belohnen. Wir müssen gemeinsam an einem Strang ziehen – und vor allem in die gleiche Richtung! Wir müssen uns auf Schlüsseltechnologien konzentrieren, darunter Künstliche Intelligenz (KI), Mikroelektronik und Biotechnologien, in denen wir unsere Stärken ausspielen und uns international in eine führende Position bringen können.

Dies möchte ich an zwei Beispielen illustrieren. Digitale Souveränität und KI ist eines davon: Für Wirtschaft, Industrie und Gesellschaft ist das disruptive Potenzial von sprachbasierten KI-Systemen enorm. Ein Bereich, der aktuell von den USA und Asien dominiert wird. Doch gerade in sicherheitskritischen Branchen ist es wichtig, dass die Daten nach höchsten Sicherheits- und Compliance-Standards beim Unternehmen verbleiben. Und genau hier bleiben die nicht-europäischen Lösungen hinter den Anforderungen des europäischen Marktes oft zurück. Zudem erfordern KI-Anwendungen in Bereichen wie Recht, Verwaltung, Medizin, Industrie oder Sicherheit ein extrem hohes Maß an Qualität, Präzision, Vertrauen und Zuverlässigkeit. Ein nationales, mindestens ein europäisches KI-Sprachmodell ist daher zwingend notwendig, um die digitale Souveränität und marktwirtschaftliche Unabhängigkeit in Europa zu gewährleisten, denn es ermöglicht unserer Wirtschaft, das Innovationspotenzial von KI-Systemen zu nutzen und gleichzeitig digital unabhängig zu bleiben.

Im Rahmen des Projekts OpenGPT-X haben wir gemeinsam mit Partnern Teuken 7B, das erste Open-Source-Sprachmodell made in Germany veröffentlicht. Teuken 7B ist vor allem erst einmal eine Technologie, die in die Anwendung gebracht werden muss. Wie das aussieht, zeigt die Deutsche Telekom bereits in der Praxis. Sie hat Teuken 7B in das Produkt Business GPT eingebaut, mit dem Firmen eine unternehmenseigene KI mit hoher Datenvertraulichkeit und Datensicherheit betreiben können.

Das zweite Beispiel ist das Thema Energiespeicherung, Thema auch in diesem Fraunhofer-Magazin. Batterietechnologien sind eine Schlüsseltechnologie für Deutschland, die CO_2-Reduktion, Ausfall-Resilienz, wirtschaftliches Wachstum und technologische Autonomie gleichermaßen fördert und unentbehrlich für eine nachhaltige Zukunft ist. Die Energiewende in ihrer heutigen Ausprägung kann nur mithilfe sicherer, zuverlässiger und leistungsfähiger Batteriespeicher gelingen. Der Bedarf an entsprechenden Technologien für elektrische Energiespeicher wird daher exponentiell steigen.



»Nach meinem Verständnis steht Joseph von Fraunhofer dafür, wissenschaftliche Denkweisen und Weltsichten mit pragmatischem Unternehmergeist zu verbinden – ein Anspruch, der mir sowohl in der Lehre als auch in meinem Wirken als Führungskraft sehr am Herzen liegt.«

Prof. Axel Müller-Groeling,
Vorstand Forschungsinfrastrukturen
und Digitalisierung

»Joseph von Fraunhofer inspiriert mich in meiner täglichen Arbeit, weil er ein scharfes Auge für Details hatte und mit Engagement und Pragmatismus seine Visionen erfolgreich umgesetzt hat.«

Dr. Sandra Krey, Vorständin
Finanzen und Controlling



Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wird auch angesichts der global volatilen Rohstoffzugänge eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft nötig sein. Wie es Deutschland gelingen kann, seine Forschungskraft in die Anwendung zu bringen, hat die Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB im Dezember 2025 gezeigt und erstmals eine durchgängige Prozesskette mit ausschließlich europäischer Anlagentechnik zur Produktion von elektrisch funktionsfähigen Lithium-Ionen-Batteriezellen realisiert. Das ist ein zentraler Meilenstein auf dem Weg zu einer wettbewerbsfähigen Batterieproduktion. Wo sich der Druck erhöht, muss Innovation die Antwort beschleunigen.

Erfindergeist ist der bedeutendste Rohstoff unseres Landes. An Kreativität und Qualität unserer Forscherinnen und ▶

Fotos: Fraunhofer/Stefan Obermeier

Forscher hat es nie gemangelt. Doch muss klar benannt werden, dass die Umsetzung von Ideen zu Innovationen häufig trotz – nicht wegen – der bestehenden Rahmenbedingungen gelingt. Viel zu oft stehen strukturelle Hürden der Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Anwendungen im Weg. Es braucht einen Mentalitätswandel, der Mut und Innovationsfreudigkeit vor Zögerlichkeit und Überregulierung stellt. Ideen müssen rasch in die Anwendung, sonst sind andere schneller. Rahmenbedingungen sollten ermöglichen, nicht be- oder schlimmstenfalls sogar verhindern.

Was uns zum Motor für Wertschöpfung macht

Transfer ist das Fraunhofer-Kerngeschäft. Jedes Jahr arbeiten unsere Fraunhofer-Institute und -Einrichtungen mit Tausenden Unternehmen zusammen, von mittelständischen Marktführern bis zu globalen Konzernen, um Innovationen rasch auf den Markt zu bringen und den Kunden und Partnern neue Wertschöpfungswege zu eröffnen. Die Fraunhofer-Gesellschaft agiert hier als ein zentraler Innovationsmotor für Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland und Europa. Wir arbeiten Tag für Tag an der Schnittstelle zwischen Forschung und Markt und kennen die Hürden und Abläufe sehr genau. Uns muss klar sein: Wenn wir ein international wettbewerbsfähiger Standort sein wollen, brauchen wir dringend innovationsfreundlichere politische Rahmenbedingungen.



»Joseph von Fraunhofer hat bewiesen, dass wissenschaftliche Exzellenz und Marktfähigkeit untrennbar zusammengehören. Er schuf nicht nur bahnbrechende Technik, sondern echten Mehrwert für die Welt. Diesem Erbe folgen wir heute, indem wir Wissen konsequent in Wirkung übersetzen und so die technologische Souveränität unserer Zukunft sichern.«

Prof. Constantin Häfner,
Vorstand Forschung und Transfer

»Joseph von Fraunhofers Vermächtnis ermutigt uns bis heute, neugierig zu bleiben, Grenzen zu verschieben, mit Offenheit und Teamgeist die Zukunft zu gestalten.«

Elisabeth Ewen, Vorständin Personal,
Unternehmenskultur und Recht



Die Regierung hat hier mit der Hightech Agenda die richtigen Weichen gestellt, um Deutschlands Innovationskraft und Souveränität in einem globalen Technologiewettbewerb zu stärken. Wir haben nicht die Ressourcen, überall Weltspitze zu sein, daher ist es genau richtig, dass die Agenda den Ausbau von Schlüsseltechnologien wie Künstlicher Intelligenz, Mikroelektronik oder Biotechnologie fördert und sicherstellt, dass Deutschland weltweit zu einem führenden Standort für neue Schlüsseltechnologien wird. Das ist ein zentraler Schritt, um technologische Souveränität aufzubauen, wirtschaftliche Abhängigkeiten zu reduzieren und internationale Wettbewerbsfähigkeit auszubauen. Fraunhofer wird die Agenda mit aller Kraft unterstützen – durch anwendungsorientierte Spitzenforschung, regionale Innovationspartnerschaften und Technologietransfer in die Anwendung. Im Schulterschluss mit Wirtschaft und Politik können wir die Position Deutschlands als Top-Technologiestandort ausbauen und langfristig sichern.

Damit die Hightech Agenda Deutschland ihre praktische Wirkung entfalten kann, dürfen strukturelle und rechtliche Rahmenbedingungen den Wissens- und Technologietransfer nicht länger behindern.

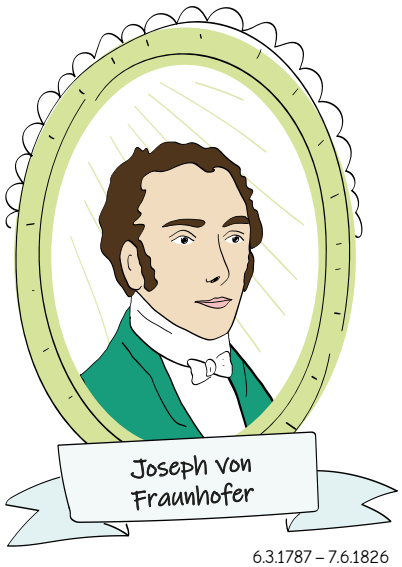
Die politisch anvisierten Reformen zum radikalen Bürokratieabbau sowie das Innovationsfreiheitsgesetz weisen in eine richtige Richtung und müssen zügig und konsequent realisiert werden. Zudem braucht es eine Kultur, die Ausgründungen und unternehmerisches Handeln erleichtert, ebenso wie Experimentierräume und bürokratiearme Testumgebungen, in denen neue Technologien effizient erprobt und skaliert werden können. Unter heutiger Bürokratie wäre der Erfolg des historischen Joseph von Fraunhofer mehr als fragwürdig.

Unser Land der Ideen muss zum Land der Taten werden

So wird aus einem Gedenkjahr eine Aufgabe für die Gegenwart mit Blick auf die Zukunft. Joseph von Fraunhofer wurde zum Namensgeber einer Forschungsorganisation, weil er eine Verbindung lebte: wissenschaftliche Exzellenz, handwerkliche Präzision, unternehmerische Umsetzung.

Darauf sollten wir aufbauen. Wenn Forschung und Anwendung von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zusammengedacht werden, können wir Großes schaffen – für unsere Wirtschaft und unsere Zukunft.

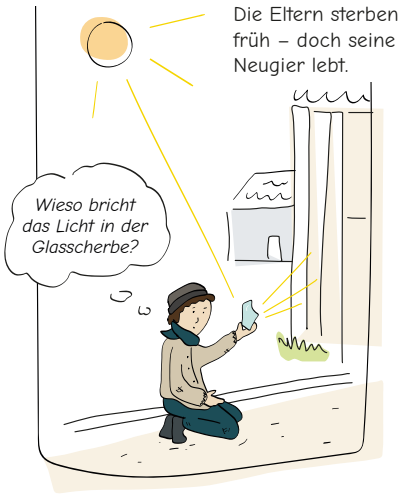
Wir sind ein Land der Ideen. Wir müssen auch wieder ein Land der Taten und innovativen Vorreiter sein, die mutig aus Ideen Wirklichkeiten schaffen. Dafür steht Fraunhofer – die Person wie die Forschungsorganisation. ■



6.3.1787 – 7.6.1826

Joseph wächst in einer armen Glaserfamilie in Straubing auf.

Die Eltern sterben früh – doch seine Neugier lebt.



Er arbeitet als Lehrling bei einem Spiegelmacher und Glasschleifer.

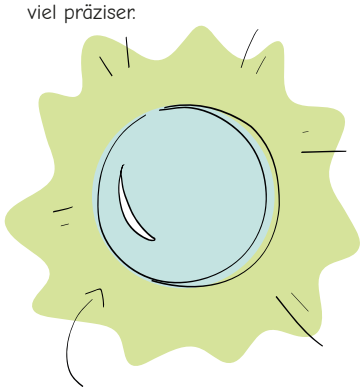


Nach einem Hauseinsturz gerettet, wird sein Talent entdeckt, und er erhält entscheidende Unterstützung auch durch Kurfürst Maximilian. Der Schicksalsschlag wird zum Glücksfall.

1806 kommt er ans Optische Institut in Benediktbeuern und steigt dort schnell in eine leitende Position auf.

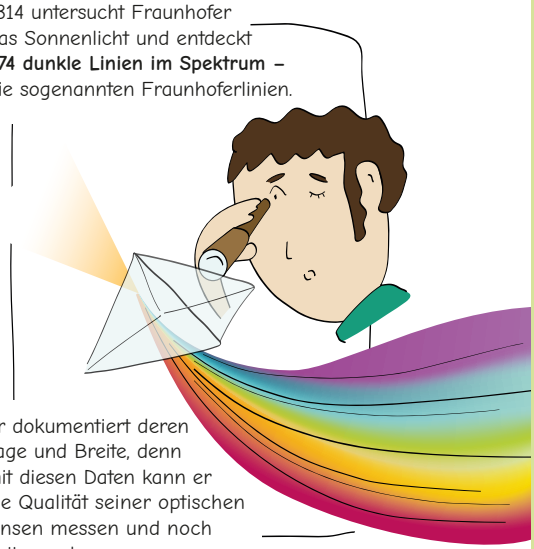


Er entwickelt neue Maschinen und verbessert die Glasqualität. Die Linsen werden dadurch sehr viel präziser.



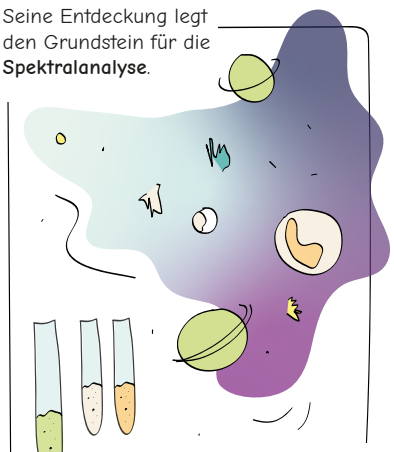
Eine Revolution der Fertigungstechnik!

1814 untersucht Fraunhofer das Sonnenlicht und entdeckt **574 dunkle Linien im Spektrum** – die sogenannten Fraunhoferlinien.



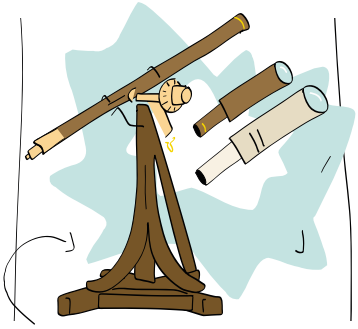
Er dokumentiert deren Lage und Breite, denn mit diesen Daten kann er die Qualität seiner optischen Linsen messen und noch weiter verbessern.

Seine Entdeckung legt den Grundstein für die **Spektralanalyse**.



Eine Methode, die wir bis heute nutzen, um die stoffliche Zusammensetzung von Materialien und Substanzen zu bestimmen.

Er produziert die **leistungsfähigsten astronomischen Fernrohre** seiner Zeit und verkauft seine Entwicklungen in ganz Europa.



Der **Dorpater Refraktor** Fraunhofers galt als Gipfel der feinmechanischen und optischen Technik dieser Zeit.

Viel zu jung stirbt Fraunhofer schon mit 39 Jahren – ein erfolgreicher Wissenschaftler und Unternehmer, geehrt und geadelt.

Doch seine Arbeit wirkt bis heute und ist exemplarisch für viele Innovationen der **Fraunhofer-Gesellschaft**, die unser Leben nachhaltig verändern.

Illustration: Fraunhofer-Gesellschaft/Vivian Ellermeyer



Die Kleinsten im Blick:
Eine Fraunhofer-Technologie erleichtert Ultraschalluntersuchungen.

Unter die Haut

Ultraschall ist beliebt. Besonders in der Kinderheilkunde kommt er häufig zum Einsatz, um vor belastender Röntgenstrahlung zu schützen. Fraunhofer-Forschende arbeiten jetzt an einer automatischen räumlichen Dokumentation der Ultraschallaufnahmen – und möchten so im hektischen Klinikalltag entlasten.

Von Yvonne Weiß



Foto: Westend61/Ezequiel Giménez/mauritius images

»Mit unserem System entlasten wir Ärztinnen und Ärzte – und es bleibt mehr Zeit für Patientinnen und Patienten.«

Oliver Gölz, Fraunhofer IPA

Sie zeigen, was sich unter der Haut in Schilddrüse, Bauch oder Lymphknoten der Patientin abspielt – schmerzlos und strahlenfrei. In Deutschland werden Jahr für Jahr mehrere Millionen Ultraschalluntersuchungen durchgeführt. Besonders häufig kommt die Sonographie in der Kinderheilkunde zum Einsatz.

Doch die Dokumentation der Aufnahmen? Ist aufwendig: Entdecken Ärztinnen und Ärzte etwa eine Zyste, müssen sie diese zunächst ausmessen und ihre Position manuell in einem 2D-Piktogramm festhalten. Die Lage des Ultraschallkopfes am Patientenkörper muss dafür auf den Bildschirm des Ultraschallsystems übertragen werden. Dieser Schritt ist nicht nur potenziell ungenau – er nimmt bislang auch etwa ein Viertel der Behandlungszeit in Anspruch.

An einer effizienten Lösung arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Mannheim. Im Projekt SonoMap entwickeln sie ein System, das Aufnahmepositionen von Ultraschallscans automatisch dokumentieren und dreidimensional visualisieren kann.

Zum Einsatz kommt dafür eine Tiefenkamera: Neben der Farbinformation berechnet diese zusätzlich die räumliche Entfernung jedes Bildpunkts. Anders als eine herkömmliche Kamera, die lediglich ein 2D-Farbbild liefert, ermöglichen Tiefenkameras somit eine 3D-Wahrnehmung. Bislang werden diese Kameras etwa in Smartphones, VR-Brillen oder landwirtschaftlichen Robotern genutzt; auf dem Ultraschallmarkt sind sie ein Novum.

Im neuen Dokumentationsverfahren ermittelt das System mit der Tiefenkamera automatisch die Aufnahmeposition des Ultraschallkopfes und hält sie in einer dreidimensionalen Abbildung fest. Zudem dokumentiert die Kamera, aus welchem Winkel das Bild angefertigt wurde – ein entscheidender Vorteil, weiß Oliver Gölz, Projektverantwortlicher und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPA: »Es macht einen sichtbaren Unterschied, von welcher Seite und aus welchem Winkel ein Objekt beschallt wird. Die zusätzlichen Informationen über Neigung und Winkel in der 3D-Aufnahme könnten helfen, Tumore oder Zysten schneller wiederzufinden – und Folgeuntersuchungen damit effizienter gestalten.«

Sobald die Tiefenkamera den Ultraschallkopf identifiziert und die Körperoberfläche abgemessen hat, ermitteln KI-basierte Bildverarbeitungsalgorithmen die Lage des Ultraschallgeräts im Verhältnis zum abstrahierten Patientenkörper. Das neue System erstellt daraus eine 3D-Visualisierung. Damit lässt sich der Patientenkörper aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten.

»Dank unseres neuen Systems müssen Ärztinnen und Ärzte das Ultraschallbild nur noch abspeichern, die räumliche Dokumentation wird automatisch erstellt«, erklärt Oliver Gölz. »Der Prozess wird so potenziell schneller und präziser.«

Ein Demonstrator der neuen Technologie existiert bereits, zum Einsatz wird er in einer anstehenden Studie kommen. Später möchten die Forschenden gemeinsam mit Industriepartnern Ultraschallsysteme mit der neuen Funktion ausstatten.

Aktuell stellt das Team sicher, dass die Tiefenkamera ausschließlich abgesicherte Bilder anfertigt; der Datenschutz der Patientinnen und Patienten ist somit gewahrt. Oliver Gölz freut sich auf das Kommende: »Mich begeistert, dass wir Probleme aus dem klinischen Alltag direkt angehen. Mit unserem System entlasten wir Ärztinnen und Ärzte – und es bleibt mehr Zeit für Patientinnen und Patienten.« ■



Energiewende

Auf zu sicherer Energie

Die Stromnetze sind alt, die Energien neu – das passt nicht gut zusammen. Damit Deutschland nicht im Dunkeln bleibt, haben Fraunhofer-Forschende innovative Lösungen entwickelt.

Von Janine van Ackeren; Fotograf: Heinz Heiss



Digitale Hilfe:
Prof. Christof Wittwer vom Fraunhofer ISE will die Resilienz des Stromnetzes mit einem Frühwarnsystem für Netzbetreiber erhöhen.

»Der Ausbau der Netzinfrastruktur für die Integration der Erneuerbaren sollte klar Priorität haben.«

Prof. Christof Wittwer, Fraunhofer ISE

Berlin, 3. Januar 2026: Ein Brandanschlag legt Teile des Stromnetzes lahm, 45 000 Haushalte und über 2200 Betriebe im Südwesten der Hauptstadt liegen im Dunkeln. Es dauert vier Tage, bis die Stromversorgung wieder hergestellt ist. Frankreich und Großbritannien, 9. Januar 2026: Nachdem der Sturm »Goretti« nachts mit bis zu 200 Kilometern pro Stunde über das Land fegte, sind in Großbritannien 55 000 Haushalte ohne Strom, in Frankreich mehr als 380 000. Spanien und Portugal, 28. April 2025: Überspannungen, Frequenzschwankungen und eine komplexe Kettenreaktion lassen die Energieversorgung in Spanien und Portugal zwölf Stunden lang ausfallen – die größte Störung im europäischen Verbundsystem seit 20 Jahren.

> »Wir sind in einer neuen Situation – man hat vor vielen Jahren nicht mit solchen Anschlägen gerechnet.«
>
> Kerstin Andreae, Vorsitzende des Bundesverbands Energie- und Wasserwirtschaft

So unterschiedlich die Gründe für die Stromausfälle auch sein mögen, so haben sie doch eines gemein: Sie zeigen, wie verwundbar unser Stromnetz ist. So gibt es im deutschen Stromnetz zahlreiche Nadelöhr-Strommasten, die einfach zu finden und noch einfacher zu beschädigen sind – und deren Außer-Kraft-Setzen schwerwiegende Folgen nach sich ziehen würde. Nötig wären brandsichere Einhausungen, die derzeit noch auf sich warten lassen. »Wir sind in einer neuen Situation – man hat vor vielen Jahren nicht mit solchen Anschlägen gerechnet«, erklärt Kerstin Andreae, Vorsitzende des Bundesverbands Energie- und Wasserwirtschaft. »Deshalb ist der physische Schutz der kritischen Infrastruktur etwas, das ganz oben auf die politische Agenda muss.« Das Bundeskabinett reagiert mit einem Gesetzentwurf zum KRITIS-Dachgesetz, in dem der Schutz kritischer Infrastrukturen bundeseinheitlich und sektorenübergreifend in den Blick genommen wird: Jeder Betreiber muss in Zukunft auf die spezifischen Risi-ken für seine Anlage mit passgenauen Maßnahmen reagieren.

Mammutaufgabe Stabilität

Bei Weitem nicht die einzige Herausforderung für die Netzbetreiber. »Jede Sicherung einer Leitung kostet Geld – wir sind in einem Dilemma zwischen Ökonomie, Wirtschaftlichkeit und Robustheit des Systems. Der Ausbau der Netzinfrastruktur für die Integration der Erneuerbaren sollte dabei klar Priorität haben«, ordnet Prof. Christof Wittwer ein, Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. »Schließlich ist die Drehscheibe der Energiewende derzeit das in die Jahre gekommene Stromnetz.« Diese ist in vollem Gange: Im dritten Quartal 2025 wurden bereits 64,1 Prozent des inländisch produzierten Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt – zwei Prozent mehr als im dritten Quartal 2024.

Das Manko: Erneuerbare in ihrer heutigen Form liefern keine Momentanreserve, die als Puffer für kurzzeitige Schwankungen im Stromnetz gebraucht wird. Bisher sorgten die schweren Generatoren und Turbinen in großen Kohle- oder Atomkraftwerken mit ihrer Trägheit dafür. Indem sie Rotationsenergie ein- oder ausspeisten, konnten sie Lastspitzen ausgleichen und die Netzfrequenz stabilisieren. Den neuen dezentralen Anlagen fehlen jedoch diese trägen Schwungräder – die notwendige Momentanreserve muss also auf anderem Weg bereitgestellt werden. Die Faustformel: Je weniger große Kraftwerke, desto weniger Schwungräder, desto mehr Instabilität. »Der Ausbau des Stromnetzes und die damit verbundenen Veränderungen sind hochkomplex«, weiß Wittwer. »Mussten Netzbetreiber früher ein- bis zweimal pro Tag in den Netzbetrieb eingreifen, sind heute um die 500 Eingriffe täglich nötig.« Für den Kunden heißt das: Es wird teurer.

Die Waffe im Kampf gegen Schwankungen: KI

Künstliche Intelligenz soll bei der Mammutaufgabe der Netzstabilität unterstützen und Kettenreaktionen samt Stromausfall verhindern. Wie genau dies auf Übertragungsnetzebene – also auf den höchsten Spannungsebenen – aussehen kann, erforschen Dr. Simon Eberlein vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE und seine Kolleginnen und Kollegen im Projekt »eKI4DS – Erklärbare KI für Dynamische Stabilität«. Als assoziierte Partner bringen sich der Chiphersteller NVIDIA sowie der Netzbetreiber TransnetBW ein.

Ort des Geschehens ist die Leitwarte der Netzbetreiber. Kritische Zustände sollen von der KI umgehend erkannt, die menschlichen Operateure gewarnt und mit Vorschlägen möglicher Gegenmaßnahmen versorgt werden. Und zwar – keineswegs üblich für eine KI – auf nachvollziehbare Weise. Möglich wird dies über KI-Methoden wie Maschinelles Lernen, die nötigen Architekturen sind vorhanden. Die Herausforderung liegt vor allem darin, das KI-Modell mit aktuellen Daten zum Zustand des Netzes zu füttern: Verbrauch, Erzeugung, Art der Energie, also erneuerbar oder konventionell. Dabei ist die KI äußerst gefräßig: Tausende oder gar Millionen von Simulationen sind nötig, um sie auf alle Eventualitäten vorzubereiten. Ein Aufwand an High-Performance-Computing, bei dem konventionelle, kommerzielle Software an ihre Grenzen kommt. ▶



Automatisierte Netzanalyse: Damit der Wasserkocher immer einsatzbereit ist, entwickelt Dr.-Ing. Dennis Rösch am Fraunhofer IOSB-AST eine KI-Agentenlösung, die die Netzbetreiber bei operativen Entscheidungen unterstützt.

»Stromausfälle wie in Spanien sollten sich mit GridCompanion künftig regional eindämmen oder sogar gänzlich verhindern lassen.«

Dr.-Ing. Dennis Rösch, Fraunhofer IOSB-AST

»Europäischer Austausch ist elementar, es sind Koordination und gemeinsames Verständnis gefragt.«

Dr.-Ing. Diana Strauß-Mincu,
Fraunhofer IEE



Vereintes Europa:
Im EU-Projekt InterSCADA arbeitet Dr.-Ing. Diana Strauß-Mincu daran, Anomalien frühzeitig zu erkennen – europaweit.

Abhilfe schafft eine Open-Source-Software, die das Team entwickelt. Kernstück ist ein komplexes, riesiges Modell des deutschen Übertragungsnetzes mit 1500 Knoten. Die Verteilnetze hin zum Endverbraucher sind vereinfacht als Last an den jeweiligen Knoten dargestellt. »Die Open-Source-Software ist quasi der Werkzeugkasten, mit dem das KI-Modell trainiert und später betrieben wird«, sagt Eberlein. Im Prototyp einer Leitwarte, über den das Fraunhofer IEE verfügt, konnte die KI an kleineren Testnetzen bereits zeigen, was in ihr steckt.

Digitaler Mitarbeiter analysiert Spannungsspitzen

Doch braucht die KI immer auch Menschen, um das Netz stabil zu halten. Gut geschultes Personal ist jedoch zunehmend schwieriger zu finden. »Die Operatoren in den Netzleitwarten haben sehr lange Einarbeitungszeiten von ein bis zwei Jahren – eine Herausforderung bei der derzeitigen Fluktuation von Arbeitskräften«, weiß Dr.-Ing. Dennis Rösch, Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung, Institutsteil Angewandte Systemtechnik IOSB-AST.

Eine KI-Agentenlösung, die Rösch und sein Team unter dem Namen GridCompanion entwickeln, soll den Netzbetreibern künftig bei operativen Entscheidungen unter die Arme greifen. »Der GridCompanion lässt Datenhaltungs- und Analysesysteme Daten austauschen und automatisiert die Analyse«, sagt Rösch. Ähnlich wie bei eKI4DS handelt es sich trotz des KI-Einsatzes keineswegs um eine Blackbox. Denn es agiert ein KI-Agent, der die verschiedenen deterministischen Analyse-Tools aufruft und bedient. Dabei handelt es sich um eine Art digitalen Mitarbeitenden, der die üblichen Analyse-Arbeitsschritte durchführt und dem Operator zur Entscheidung zur Verfügung stellt – automatisiert, versteht sich. »Der menschliche Operator erhält sowohl die aufbereiteten Analysedaten als auch eine belastbare Liste an Ursachen, durch die die aktuellen Störfälle hervorgerufen werden könnten«, konkretisiert Rösch. Ein Testlauf mit drei deutschen Netzbetreibern startete im Februar 2026: Darin wollen die Forschenden jeweils einen konkreten Anwendungsfall definieren und entwickeln. Etwa eine Störungspriorisierung: Laufen mehrere Störungen zeitgleich auf – um welche soll der Operateur sich zuerst kümmern? In ein bis zwei Jahren könnte das System bereits in den Leitwarten die menschlichen Kolleginnen und Kollegen unterstützen. »Gegen Anschläge wie in Berlin ist man damit zwar nicht gefeit – denn wo keine funktionierende Leitung mehr existiert, hilft natürlich auch eine Optimierung der Arbeitsprozesse in der Leitstelle nicht«, erklärt Rösch. »Stromausfälle wie in Spanien, die vor allem auf Netzschwankungen zurückzuführen sind und durch aktive Eingriffe der Leitstelle beseitigt werden könnten, sollten sich mit GridCompanion allerdings künftig regional eindämmen oder sogar gänzlich verhindern lassen.«

> »Die Open-Source-Software ist quasi der Werkzeugkasten, mit dem das KI-Modell trainiert und später betrieben wird.«
>
> Dr. Simon Eberlein, Fraunhofer IEE

Open-Source-Plattform stärkt europäische Kooperation

Nun ist die Netzstabilität nicht allein ein deutsches Problem, sondern eine europaweite Herausforderung – schließlich ist das elektrische Netz auf den europäischen Ebenen ein Verbundnetz. Durchaus denkbar also, dass sich eine Störung im spanischen Netz über Frankreich bis nach Deutschland ausbreitet. »Europäischer Austausch ist elementar, es sind Koordination und gemeinsames Verständnis gefragt«, weiß Dr.-Ing. Diana Strauß-Mincu, Gruppenleiterin am Fraunhofer IEE. Das EU-Projekt InterSCADA – beteiligt sind 18 Partner aus 9 EU-Ländern sowie aus Taiwan – soll die Zusammenarbeit der europäischen Netzbetreiber intensivieren. Um Anomalien europaweit frühzeitig erkennen und beheben zu können, entwickeln die Forschenden eine Open-Source-Plattform zur Datenerfassung, Fernüberwachung und Steuerung von Energienetzen. Experten sprechen von einer SCADA-Plattform, kurz für »Supervisory Control and Data Acquisition Platform«. Das System ist modular aufgebaut, Netzbetreiber können die Plattform also selbst anpassen und weitere Module ergänzen.

Das Fraunhofer-Team steuert unter anderem ein Modul zur Trägheitsbeobachtung und -schätzung bei. Die Basis bilden Messsysteme, die bereits an unterschiedlichen Punkten im Netz integriert sind – die restlichen Parameter werden durch das Zustandsschätzungsmodul approximiert. »Unser Algorithmus filtert die Messwerte, bereitet sie auf und berechnet daraus die Trägheit des Netzes«, sagt Strauß-Mincu. Knifflig ist vor allem, die Algorithmen anzupassen. Ein weiteres Modul aus Fraunhofer-Laboren ist das Entscheidungsunterstützungsmodul. Ein Digitaler Zwilling des Netzes ermöglicht es, unterschiedliche Störungen sowie ihre Auswirkungen auf das Netz zu analysieren, ohne das reale Netz in Gefahr zu bringen, und die Folgen verschiedener stabilisierender Maßnahmen zu untersuchen. Dazu fließen zum einen die aktuellen Werte aus der Trägheitsüberwachung ein, zum anderen die Zustandsschätzung. Künftig soll das neue Modul die Netzbetreiber mit einer jeweils priorisierten Auswahl von stabilisierenden Maßnahmen versorgen. Strauß-Mincu: »InterSCADA dürfte künftig dazu beitragen, die Stabilität des Netzes zu steigern und Ausfälle unwahrscheinlicher werden zu lassen.« ▶

Hoffnungsträger: Netzbildende Wechselrichter

Auch im Netz selbst lässt sich einiges tun, um es bei einem weiteren Zubau von erneuerbaren Energien stabil zu halten. Großer Hoffnungsträger sind netzbildende Wechselrichter. Der Hintergrund: Erneuerbare Energieanlagen wie Solaranlagen und Windräder brauchen einen Wechselrichter, der den erzeugten Gleichstrom vor dem Einspeisen in Wechselstrom umwandelt. Gleiches gilt für Batteriesysteme. Bisher geschieht dies netzfolgend. Die Anlage synchronisiert sich auf die Frequenz des Netzes, um diese nicht allzu sehr aus dem Tritt zu bringen. Das heißt aber auch: Schwankt die Netzfrequenz leicht, ziehen Solaranlagen und zunehmend Batterieanlagen mit. Netzbildend geregelte Wechselrichter können Frequenz und Spannung aktiv stabilisieren und dazu beitragen, sie auf den Soll-Werten zu halten – sie können damit die Schwungmasse der außer Betrieb gehenden konventionellen Kraftwerke ersetzen und somit die Widerstandsfähigkeit gegenüber Netzfehlern vergrößern. Erste netzbildende Wechselrichter sind bereits auf dem Markt – es hapert jedoch noch am standardisierten Verhalten am Netz. Es gilt, das System zu dämpfen und herstellerübergreifende Standards zu schaffen. Zudem gibt es seit diesem Jahr auch einen Markt für Momentanreserven, an dem diese Funktionalität vermarktet werden kann.

Die Forschenden des Fraunhofer ISE nähern sich dieser Problematik gleich mehrfach. Im hauseigenen Multi-Megawatt-Lab können Netzfehler nachgestellt und die Reaktion der Prüflinge untersucht werden – mit extrem hoher Zeitauflösung. Gemeinsam mit den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern haben die Forschenden zunächst ein entsprechendes Mess- und Bewertungsverfahren sowie einen Anforderungskatalog entwickelt, um einen Vergleich der Geräte zu ermöglichen, und anschließend möglichst viele netzbildende Wechselrichter getestet. Wie gut eignen sie sich, um das Netz unter verschiedenen Bedingungen zu stabilisieren? Witt-



Kommunikation: Dr. Marc Richter und Christoph Wenge haben am Fraunhofer IFF eine Art Leitwarte entwickelt, die Netzbetreiber, Feuerwehr und Co vernetzt.



wer fordert: »Das Systemdesign muss hocheffizient, kompakt und skalierbar sein und sich als Spitzentechnologie am Standort Deutschland wettbewerbsfähig produzieren lassen.«

»Wir wollen negative Netzeinflüsse reduzieren und kompensieren, die Versorgungsqualität steigern, Betriebsmittel entlasten und die vorhandene Netzinfrastruktur optimal nutzen.«

Dr. Christoph Wenge, Fraunhofer IFF

Im Projekt SUREVIVE geht das Team noch einen Schritt weiter und untersucht gemeinsam mit Partnern erstmals im deutschen Verteilnetz, in welchem Ausmaß netzbildende Wechselrichter das Stromnetz stabilisieren. Wer braucht wo und wie viele dieser Anlagen? Wie müssen sie gesteuert und parametriert werden, um im gesamten Netzverbund eine optimale Wirkung zu entfalten? Der Projektpartner Schoenergie hat dafür erstmalig ein netzbildendes Batteriesystem mit einer Leistung von 20 Megawatt und einer Kapazität von 55 Megawattstunden in Föhren/Rheinland-Pfalz direkt an ein Umspannwerk des Verteilnetzbetreibers Westnetz angeschlossen. Um die Risiken für diesen Feldtest möglichst gering zu halten, analysierten die Forschenden des Fraunhofer ISE die netzbildenden Eigenschaften und das Verhalten vorab im Multi-Megawatt-Lab. ▶

Künftig könnten dann entsprechende Batteriespeicher mit Hunderten von Megawatt Speicherkapazität bei Bedarf für einen Energieausgleich sorgen – und gleichzeitig das Netz stabilisieren und mit der notwendigen Momentanreserve versorgen, die bisher von den konventionellen Kraftwerken bereitgestellt wurde. Der Endverbraucher spürt von alldem nichts.

Digitaler Zwilling mit »sensorischen« Augen

Auch Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF arbeiten daran, netzbildende Wechselrichter als stabilisierende Maßnahme ins Netz zu integrieren – in Kombination mit Batteriesystemen. Im Verbundprojekt ALene, einer Kooperation von Industrie, Netzbetreibern und Forschungseinrichtungen, entwickeln sie entsprechende intelligente Algorithmen und leistungselektronische Systeme. »Wir wollen negative Netzeinflüsse reduzieren und kompensieren, die Versorgungsqualität steigern, Betriebsmittel entlasten und die vorhandene Netzinfrastruktur optimal nutzen«, verdeutlicht Dr. Christoph Wenge vom Fraunhofer IFF. Kurzum: die Resilienz der Netze erhöhen.

Ein Schritt auf dem Weg zum Ziel liegt in einer innovativen Messtechnik, muss doch für eine adäquate Reaktion zunächst einmal bekannt sein, was im Netz geschieht. Wenge: »Mit unserer Online-Impedanzmessung, einer Messung des Widerstands, können wir kontinuierlich und in Echtzeit den Zustand des Netzes überwachen – das ist einzigartig. Veränderungen und Destabilisierungen sieht man sofort.« Derzeit haben solche Messungen, wenn sie überhaupt durchgeführt werden, maximal eine minütliche Abtastrate: sprich eine Messung pro Minute. Doch können sich Störungen innerhalb von Millisekunden manifestieren, für die Regulation sind stetige Online-Überwachung sowie automatisierte Verfahren gefragt. Daher leiten die Messsysteme ihre Daten umgehend zur Leitwarte weiter, wo die Algorithmen daraus die Netzsituation abbilden, den optimalen Sollwert ermitteln und diesen an die Wechselrichter zurückspielen, damit sie netzstabilisierend arbeiten.

Während die Partner sich auf die Mess- und Steuerungstechnik fokussieren, erstellen die Forschenden des Fraunhofer IFF einen Digitalen Zwilling des Gesamtsystems und bilden dieses simulativ ab. »Wir befassen uns mit der Frage, wie aus den Messwerten das bestmögliche Steuerungssignal generiert werden kann. Das umfasst die gesamte Logik der Datenverarbeitung: Messen, Gegenmaßnahmen ermitteln, Steuerungsalgorithmen bereitstellen und entsprechende Steuerungsbefehle ausgeben. Anders gesagt entwickeln wir die Schnittstelle zwischen Überwachungs- und Steuerungssystem«, beschreibt Wenge. Der netzbildende Wechselrichter ist bereits fertiggestellt, auch das Batteriesystem steht am Fraunhofer IFF schon parat. In den nächsten Monaten sollen sie zusammengeführt und mit der Messtechnik kombiniert werden. Wie das System in Berlin hätte helfen können? Wenge: »Nach dem Anschlag hat das Echtzeitbild des Netzes nicht funktioniert. Insbesondere fehlten Echtzeitinformationen darüber, wie groß die betroffenen Netze waren und wo die Grenze zu den funktionierenden Bereichen lag – man war also ein Stück weit blind.« Das soll ALene künftig ändern.

> »Insbesondere beim schnellen und einheitlichen Informieren der Bevölkerung besteht Bedarf an optimierten Abstimmungsprozessen.«
>
> Dr. Marc Richter, Fraunhofer IFF

Stark im Krisenfall

Berlin zeigt: Auch im Bereich Kommunikation gibt es im Krisenfall Verbesserungsbedarf. »Die Ereignisse in Berlin haben gezeigt, dass die Kommunikation zwischen Netzbetreibern, Krisenstab, Katastrophenschutz und Feuerwehr in komplexen Lagen noch weiter gestärkt werden kann. Insbesondere beim schnellen und einheitlichen Informieren der Bevölkerung besteht Bedarf an optimierten Abstimmungsprozessen«, meint Dr. Marc Richter, Abteilungsleiter am Fraunhofer IFF. Mit dem Integrated Operations Center IOC hat er gemeinsam mit seinem Team eine Art Leitwarte entwickelt, die Daten zu Stromerzeugung, -transport, -speicherung und -verbrauch in einem einheitlichen System zusammenführt. »Das IOC fungiert als bereichsübergreifende Informationsdrehscheibe. Das reduziert Interpretationsfehler und verhindert, dass Teams – etwa aufgrund widersprüchlicher Lageeinschätzungen oder Kommunikationslücken – mit unterschiedlichen Lagebildern arbeiten«, erklärt Richter.

Im Fraunhofer IFF dient das IOC zudem als Forschungs- und Erprobungsumfeld: Eines der dort durchgeführten Projekte – gemeinsam mit Siemens und dem Netzbetreiber 50 Hertz – ist ODAL, kurz für »Operator-zentrische digitale Assistenzsysteme in modularen Leitsystemen«. Im Kern geht es darum, den Menschen in der Leitwarte in hektischen Ausnahmesituationen unter die Arme zu greifen – durch digitale Assistenzsysteme und Werkzeuge. Dafür generiert das Team Trainingsszenarien: Wie reagiert der Operateur auf die Krise? Macht er das Richtige, und macht er es schnell genug? Gibt es Verbesserungspotenziale? Diese Daten wiederum werden genutzt, um eine KI zu trainieren. Ein Beispiel: Fällt eine einzige Leitung aus, kann das Netz dies in der Regel gut auffangen. Schwierig wird es, wenn mehrere Leitungen gleichzeitig ausfallen, etwa bei Cyberattacken oder kaskadierten Effekten. Eine der Besonderheiten von ODAL liegt darin, dass die KI solche Szenarien selbst- ▶



E-Autos als Notfallreserve: Prof. Marco Jung entwickelt am Fraunhofer IEE Methoden, mit denen sich die Akkus von E-Autos bei Netzausfällen nutzen lassen.

Woher der Strom auch bei Netzausfällen kommt? Prof. Marco Jung vom Fraunhofer IEE arbeitet an mehr Stabilität durch bidirektionales Laden.

ständig entwirft, priorisiert und Lösungen entwickelt – die Szenarien werden also automatisiert erstellt.

Dominoeffekt vorbeugen

Im optimalen Fall sollten die Mitarbeitenden der Leitwarten natürlich gar nicht erst in solche Stresssituationen kommen – da die Netzinfrastruktur resilient gegenüber Störungen ist. Doch wie lässt sich das Energienetz gegen Überschwemmungen, Stürme, Anschläge wappnen? Dieser Frage gehen Forschende der Fraunhofer-Institute ISE, EMI, IEE, IEG und IOSB im Projekt »Resist« noch bis Sommer 2026 nach. Drei Störungsszenarien haben sie dafür definiert: technischer Defekt, Cyberangriff und Naturkatastrophe. Diese spielten sie in verschiedenen Ausprägungen mit einem allgemeinen Digitalen Zwilling der Verteilnetzebene durch. »Der Digitale Zwilling hilft uns, das Netz zu verstehen, abzubilden und denkbare Störungen möglichst verlässlich zu erfassen«, sagt Wittwer. Inwieweit lässt sich die Stromversorgung vor, während und nach einer Störung aufrechterhalten? Wo muss nachgebessert werden? Eine große Herausforderung liegt in der zunehmenden Komplexität des Netzes, die die Verwundbarkeit steigert und Kaskadeneffekte auslösen kann – eine Art Dominoeffekt, der auch in anderen Bereichen für Dunkelheit sorgt. Eine dezentrale Struktur des Stromnetzes mit netzbildenden Batteriesystemen und einer Rückfalllogik der IT-Systeme bietet hier eine vielversprechende Perspektive.

Die Daten für die Störszenarien, die die Forschenden mithilfe des Digitalen Zwillings erfasst haben, werden im »Resilienzmonitor« gebündelt, ausgewertet und visualisiert. Ein Planungstool ermöglicht, die identifizierten Resilienzkriterien in die Planung künftiger Netzinfrastruktur einfließen zu lassen, um Stromausfälle möglichst zu vermeiden. Wittwer: »Zudem ist der Resilienzmonitor eine Art Frühwarnsystem für Netzbetreiber. Er zeigt die aktuelle Stabilität des Stromnetzes und erlaubt eine Vorhersage, sodass sich kritische Situationen früher erkennen und beheben lassen.«

Um die Resilienz des Stromnetzes bei Großstörungen zu erhöhen, haben Wittwer und sein Team auch den Einsatz von netzbildenden Wechselrichtern im Verteilnetz untersucht. Im Zusammenspiel mit großen Batterien könnten sie lokale Inselnetze bilden, sogenannte Microgrids, und betroffene Bereiche weiterhin versorgen. Die Forschenden haben dazu einen Batteriewechselrichter, den sie im Projekt NETfficient entwickelt haben, im »Digital Grid Lab« – einem Digitalen Zwilling des Netzes – integriert. Dabei befinden sich reale Prüfkomponenten, in diesem Fall der Batteriewechselrichter, in einem virtuellen Stromnetz. Das virtuelle Netz berechnet verschiedene Störfälle, kalkuliert in Echtzeit deren Auswirkungen auf Frequenz und Spannung und prägt diese auf das tatsächliche Gerät auf. »Wir untersuchen die Wechselwirkung zwischen Bauteil und Stromnetz und wie sich die Reaktion auf das Netz auswirkt«, erklärt Wittwer.

> »Die Notstromversorgung durch Feuerwehr und THW würde somit revolutioniert werden.«
>
> Anton Gorodnichev, Fraunhofer IEE

Notstromversorgung per Elektroauto

Könnte man nicht, fragten sich Anton Gorodnichev und Prof. Marco Jung aus dem Fraunhofer IEE, statt großer Batteriespeicher die Energie aus Autobatterien nutzen, um Netzausfälle zu überbrücken? »Voraussetzung ist das bidirektionale Laden: Darüber kann die Batterie der Autos nicht nur Strom tanken, sondern ihn auch wieder ans Netz abgeben«, weiß Jung. Die Idee, bei Dunkelflauten auf die Batterien von Elektroautos zuzugreifen, um den Engpass in den Netzen auszugleichen und die Batterien bei einem Überangebot wieder voll zu laden, gibt es schon länger – man spricht dabei von Vehicle-to-Grid. Im Projekt »Ladeinfrastruktur 2.0« haben die Fraunhofer-IEE-Forschenden diesen Ansatz in München und in Hamburg gemeinsam mit dem Automobilzulieferer Vitesco Technologies bereits erfolgreich getestet. Auch die Firma wallbox in Barcelona setzt auf dieses Modell: Eine vom Unternehmen entwickelte KI nutzt die in den Batterien gespeicherte Energie intelligent und lässt den Autos dennoch genügend Reserve für ihren Einsatz. Damit spart wallbox mehr als 20 Prozent seiner Energiekosten – ein Vorzeigebeispiel, das auf Nachahmung wartet.

Im Projekt CombiPower entwickelt das Fraunhofer IEE das neuartige »Vehicle-to-Grid +«, welches weniger zur dauerhaften Netzstabilisierung gedacht ist, sondern dank der netzbildenden Regelung zur Notstromerzeugung bei Stromausfällen genutzt werden kann. »Ein oder mehrere Fahrzeuge können selbstständig ein Inselnetz erzeugen – unabhängig vom übergeordneten Stromnetz. Somit wird das Fahrzeug zu einer mobilen netzbildenden Anlage. Zusätzlich lassen sich lokale erneuerbare Erzeuger wie Photovoltaikanlagen oder Batteriespeicher integrieren«, veranschaulicht Gorodnichev. Eine Fahrzeugbatterie hat eine Speicherkapazität von 90 Kilowattstunden, der Durchschnittshaushalt verbraucht etwa zehn bis 15 Kilowattstunden am Tag – eine Woche könnte man sich also mit so einem Fahrzeug versorgen. Bindet man Solaranlagen oder Dieselgeneratoren ein, auch länger.

Dass der Ansatz generell funktioniert – und sich das Inselnetz anschließend sogar mit dem normalen Stromnetz zusammenführen lässt –, haben die Forschenden im Projekt RuBICon demonstriert. Gorodnichev: »Wir haben einen kompletten Straßenzug mit Haushaltsnachbildungen nachgestellt und diese über einen netzbildenden Umrichter versorgt. Wir denken hier auch weiter. Die Notstromversorgung durch Feuerwehr und THW würde so revolutioniert werden.« Es gibt also Hoffnung für Berlin – und anderswo. ■



Vorrat für den Energie-Hunger

Dunkelflauten bringen unser Stromsystem an Grenzen. Innovative Speichertechnologien sollen die Energielücke schließen. Fraunhofer-Forschende haben dafür unter anderem den bisher größten Vanadium-Redox-Flow-Batteriespeicher Europas in Betrieb genommen. Ein Überblick.

Von Beate Strobel

Dunkelflaute: Allein das Wort klingt bedrohlich. Dabei verbirgt sich hinter der Vokabel lediglich die Tatsache, dass es in unseren Breitengraden im Winter weniger Sonnenstunden gibt und es phasenweise eher windstill ist. Doch da bereits mehr als die Hälfte des Energiehungers in Deutschland durch Windkraft und Solarpower gestillt wird, beeinflusst diese Wintergemengelage den Energiemarkt: In Dunkelflauten steigt der Strompreis aufgrund des veränderten Verhältnisses zwischen Angebot und Nachfrage rapide.

Helfen kann hier eine Technik, die den Menschen traditionell durch den Winter geholfen hat: Vorratshaltung. Anders als Kartoffeln und Gemüse lässt sich Strom allerdings nicht so einfach im Keller für dunkelstille Zeiten lagern. Deshalb arbeitet die Forschung inzwischen verstärkt an neuen Formen der Energiespeicherung, um erneuerbare Energie aus ertragreichen Zeiten zu sichern für Phasen, in denen kaum Strom produziert werden kann.

Elektrochemische Speicherung

Wenn über die Energiewende gesprochen wird, fallen zwei Wörter besonders häufig: Batterien und Speicher. Gemeint ist in der Regel die elektrochemische Energiespeicherung – ein Prinzip, das heute fast überall genutzt wird: im Smartphone, im Elektroauto, in Hausbatterien für ▶



Solaranlagen und zunehmend auch in großen Speicherkraftwerken.

In jeder Batterie stecken zwei unterschiedliche Materialien – Elektroden – und eine Flüssigkeit oder ein Gel dazwischen: der Elektrolyt. Die Materialien unterscheiden sich darin, wie leicht sie Elektronen abgeben oder aufnehmen. Wird die Batterie geladen, zwingt man Elektronen von einer Elektrode zur anderen. Die Energie, die dabei hineingesteckt wird, verbleibt im Inneren der Batterie in Form von chemischen Veränderungen. Wird die Batterie später entladen, läuft dieser Prozess genau andersherum: Die Elektronen wollen wieder zurück und fließen dabei durch einen äußeren Stromkreis. Dieser Elektronenfluss ist der Strom, der dann ein Gerät antreibt oder ein Haus versorgt.

Beim Laden und Entladen findet also keine Verbrennung statt; die ganze Arbeit erledigen Atome und Ionen, die sich zwischen den Elektroden hin- und herbewegen und dort chemische Bindungen eingehen oder lösen. Batterien unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich der verwendeten Materialien. Lithium-Ionen-Batterien etwa sind leicht, leistungsfähig und können große Energiemengen aufnehmen, was ihren Siegeszug in Smartphones und Elektroautos erklärt. Andere Systeme wie Natrium-Ionen-Batterien, Redox-Flow-Speicher oder Hochtemperaturbatterien setzen auf andere Materialien und eignen sich für ganz unterschiedliche Einsatzbereiche: große Energiespeicher für Solar- und Windparks, langlebige Speicher für Industrieanlagen oder kostengünstige Lösungen für Regionen, in denen Lithium knapp oder teuer ist.

Elektrochemische Speicher können fast überall eingesetzt werden: in Haushalten, um Solarstrom vom Tag am Abend zu nutzen; in Industriebetrieben, um Spitzenlasten zu glätten; in Stromnetzen, um Frequenzschwankungen auszugleichen; und in Fahrzeugen aller Art. Sie bringen Energie dorthin, wo sie gebraucht wird – und zwar genau dann, wenn sie benötigt wird. In einer Welt, die immer mehr auf erneuerbare Energien setzt, ist das unverzichtbar.

Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT hat im Sommer 2025 den Forschungsbetrieb für den bisher größten Vanadium-Redox-Flow-Batteriespeicher Europas gestartet. Eine Redox-Flow-Batterie speichert Energie in flüssigen Elektrolyten. In der Batterie befinden sich dafür zwei große Tanks, gefüllt mit zwei unterschiedlichen Flüssigkeiten. Diese Flüssigkeiten enthalten jeweils chemische Stoffe, die Elektronen aufnehmen oder abgeben können. Beim Laden und Entladen werden diese Flüssigkeiten durch eine Reaktionszelle gepumpt, in der dann die eigentliche Stromerzeugung stattfindet. Der am Fraunhofer ICT entwickelte Speicher kann bis zu zwei Megawatt Leistung bereitstellen und bis zu 20 Megawattstunden Energie speichern – genug, um mehrere Hundert Haushalte über viele Stunden mit Strom zu versorgen. Die Anlage steht auf dem Gelände des Instituts in Pfinztal und ist direkt mit einer 2-Megawatt-Windkraftanlage gekoppelt.

In einem ersten Praxistest zeigte sich, dass sich erneuerbare Energien mithilfe dieses Speichers gezielt ins Stromnetz einspeisen lassen – auch dann, wenn der Wind gerade nicht weht. Das sei ein entscheidender Schritt hin zu einem stabilen Stromsystem, urteilt Projektleiter Dr.-Ing. Jens Noack, Teamleiter für Flussbatterien in der Abteilung für Angewandte Elektrochemie am Fraunhofer ICT und außerordentlicher Professor an der australischen University of New South Wales. Ein solches System könne helfen, abgelegene Orte, Unternehmen oder ganze Energiedörfer zuverlässig mit sauberem Strom zu versorgen, selbst wenn sie nicht gut ans öffentliche Netz angebunden sind.

Mechanische Energiespeicherung

Die mechanische Energiespeicherung gehört zu den ältesten und zugleich robustesten Methoden, Energie für später aufzubewahren. Dabei greifen mechanische Speicher auf einfache, aber sehr wirkungsvolle physikalische Prinzipien zurück: Lageenergie, Bewegungsenergie und Verformungsenergie. Energie wird dabei rein physikalisch gespeichert – ohne chemische Reaktionen, ohne Seltene Erden und meist mit langer Lebensdauer.

Druckluftenergiespeicher etwa nutzen einen Überschuss an elektrischer Energie dazu, über Kompressoren Luft in unterirdische Kavernen zu pressen. Dabei steigen Druck und Temperatur der Luft. Die Energie steckt nun in der komprimierten Luft – je höher der Druck, desto mehr wurde gespeichert. Sobald die Luft wieder expandiert, kann sie Turbinen in Schwung setzen, die wiederum Generatoren antreiben, über die dann elektrischer Strom ins Netz abgegeben wird.

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens KompEx LTA-CAES® modular wurde beim Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT eine Anlagentechnik entwickelt, die durch modularen Aufbau und die Kombination von Turbo- und Kolbenmaschinen eine ortsunabhängige Druckluftenergiespeicherung ermöglicht. Die Technologie nutzt die Tatsache, dass sich Luft bei der Kompression stark erwärmt und bei der Ausdehnung wieder drastisch abkühlt, indem sie die anfallende Prozesswärme speichert und beim Expandieren wiederverwendet. Dadurch ist sie nicht auf die Hilfe fossiler Energieträger angewiesen. Ein weiterer Clou: Für die Ein- und Ausspeicherung der Energie kann ein und derselbe Maschinensatz verwendet werden, während bei herkömmlichen Druckluftenergiespeichern mit getrennten Maschinensätzen gearbeitet wird. So kann auf einen kompletten Maschinenstrang verzichtet werden – ein Beitrag zur Kostenersparnis.

Ein anderer spannender Ansatz ist das Prinzip der Pumpspeicher-Kraftwerke. In der klassischen Version wird mithilfe gerade überschüssiger Energie Wasser aus einem niedrig gelegenen Becken in ein höheres Becken gepumpt. Wird Strom benötigt, lässt man das Wasser wieder ins Unterbecken abfließen, wobei es über einen an eine Turbine angeschlossenen Generator elektrischen Strom erzeugt. Im Projekt StEnSea »Stored Energy in the Sea« wollen Forschende am Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE dieses Prinzip vom Land auf Ozeane übertragen: 400 Tonnen schwere Betonhohlkugeln werden auf dem Meeresboden verankert und mit überschüssiger



Energie aus Offshore-Windkraftanlagen leergepumpt. Zur Entladung lässt man einfach wieder Wasser hineinfließen, das so über Turbinen Strom erzeugt. Nach einem erfolgreichen Versuch im Bodensee mit einer Drei-Meter-Kugel steht nun im Rahmen des Folgeprojekts StEnSea 2.0 für Ende 2026 ein weiterer Testlauf an – diesmal vor der kalifornischen Küste und in deutlich größerem Maßstab.

Thermische Energiespeicher

Wärme ist eine der wichtigsten Energieformen im Alltag: Sie heizt Wohnungen, treibt Industrieprozesse an und bringt das Badewasser auf angenehme Temperatur. Allerdings ist Wärme oft dann verfügbar, wenn wir sie gar nicht brauchen – etwa Solarwärme im Hochsommer oder Abwärme aus Fabriken in der Nacht. Thermische Energiespeicher machen diese Wärme zeitlich flexibel.

Bei der einfachsten Form der thermischen Energiespeicherung wird ein Material wie Wasser, Sand oder Stein schlicht erwärmt. Es nimmt so Energie auf, die es beim Abkühlen sukzessive abgibt. Solche Speicher sind robust, günstig und in Haushalten wie in Fernwärmenetzen weit verbreitet. Allerdings verlieren sie – man kennt es von der Wärmflasche oder Thermoskanne – über längere Zeit durch Wärmeabgabe an die Umgebung an Effizienz, weshalb sie sich vor allem als Speicheroption für Stunden bis wenige Tage eignen.

Eine elegantere Form nutzt den sogenannten Phasenwechsel: Schmilzt ein Stoff, speichert er große Mengen Energie, ohne dass sich seine Temperatur dabei verändert. Erst wenn er vollständig verflüssigt ist, steigt die Temperatur. Dieses Prinzip macht man sich in sogenannten Latentwärmespeichern zunutze. Die Materialien, die hier zum Einsatz kommen – häufig Paraffine oder bestimmte Salze –, sind so ausgewählt, dass sie bei exakt jener Temperatur schmelzen, bei der auch später wieder geheizt oder gekühlt werden soll. Dadurch lassen sich Temperaturschwankungen abfangen und große Energiemengen auf engem Raum speichern. Das Verfahren ist technisch anspruchsvoller, aber ideal, wenn eine konstante Temperatur gewünscht oder nur wenig Platz vorhanden ist.

Die dritte Variante ist die thermochemische Speicherung, die den Schritt zur »Wärme-Batterie« vollzieht. Hier wird die Wärme in chemische Bindungen eingebaut – etwa indem ein Stoff durch Wärmezufuhr entwässert oder seine Molekülstruktur verändert wird. Später kann man diese Reaktion umkehren beispielsweise durch Beigabe von Wasser. Dabei wird die gespeicherte Wärme freigesetzt. Vorteil: Solche Speicher verlieren über Monate oder sogar Jahre hinweg praktisch keine Energie, weil sie nicht auf Temperaturerhaltung angewiesen sind. Sie eignen sich damit ideal für saisonale Speicher, etwa um Sommerwärme im Winter nutzbar zu machen.

Im Projekt ISSDEMO entwickelt das Fraunhofer UMSICHT mit mehreren Partnern einen neuartigen Wärmespeicher, der besonders schnell reagiert und sehr hohe Temperaturen aushält. Dieser Speicher basiert auf einer speziellen Metalllegierung, die beim Schmelzen und Erstarren große Mengen Wärme aufnehmen und wieder abgeben kann. Dadurch lässt sich Prozessdampf, wie er in vielen Fabriken benötigt wird, flexibel und klimafreundlich bereitstellen – und zwar mit Wärme aus erneuerbaren Energien statt aus fossilen Brennstoffen.

Der Wärmespeicher nutzt das Prinzip des Phasenwechsels: Schmilzt die Metalllegierung, kann sie viel Energie aufnehmen; wird sie wieder fest, gibt sie diese Wärme wieder ab. Im Projekt wird der Speicher so weiterentwickelt, dass er hohe Temperaturen von 250 bis 500 Grad Celsius liefern kann und genügend Energie speichert, um in der Industrie sinnvoll eingesetzt zu werden. Dort könnte dann erneuerbarer Strom direkt in Wärme für Produktionsprozesse umgewandelt werden.

Chemische Energiespeicher

Diese Form der Energielagerung erfolgt nicht über Temperatur oder Druck, sondern über die Struktur von Molekülen. Denn jede chemische Substanz besitzt eine bestimmte Menge an Energie, die in den Bindungen zwischen Atomen steckt. Wird eine chemische Reaktion ausgelöst, können diese Bindungen Energie aufnehmen oder abgeben. Chemische Speicher setzen also Energie ein, um chemische Formen zu verändern. Zur Energierückgewinnung läuft der Prozess dann rückwärts ab.

Wasser beispielsweise lässt sich durch Zufuhr von Strom in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen. Der dabei entstehende Wasserstoff enthält Energie, ohne dass er dabei warm wird oder sich bewegt: Sie steckt schlicht in den Molekülen selbst. Wenn Wasserstoff mit Sauerstoff reagiert und wieder zu Wasser wird, kommt diese Energie frei. Diese Art der Speicherung ist besonders interessant, weil so weit größere Energiemengen gespeichert werden können als in herkömmlichen Batterien.

Die Referenzfabrik.H2 des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU hat sogenannte Wasserstoff-Microgrids für eine Zwischenspeicherung von nicht unmittelbar benötigter elektrischer Energie entwickelt. Kernelement ist dabei der am Fraunhofer IWU entwickelte Elektrolyseur HyVentus. Diese Wasserstoff-Microgrids wandeln überschüssigen Strom aus erneuerbaren Quellen in Wasserstoff um und speichern ihn. Bei Bedarf wird der Wasserstoff über Brennstoffzellen wieder in Elektrizität umgewandelt. Die in Hochseecontainern installierten Microgrids eignen sich besonders für dezentrale Energienetzwerke.

Die Container-Lösungen speichern überschüssigen Solar- und Windstrom als Wasserstoff und ermöglichen so bei Bedarf auch eine saisonale Speicherung. Anders als klassische Batterielösungen können sie große Energiemengen über längere Zeiträume speichern, da Wasserstoff eine sehr geringe Selbstentladung aufweist. Dieser Aspekt macht sie ideal für die saisonale Energiespeicherung. Gleichzeitig überbrücken die Microgrids Dunkelflauten, wenn weder Wind noch Sonne verfügbar sind.

Potenzielle Nutzer der Technologie wären beispielsweise Krankenhäuser aufgrund des bei der Elektrolyse anfallenden Sauerstoffs. Dieser könnte als technischer Sauerstoff verbraucht oder zur Reinigung sowie Desinfektion von Wasser verwendet werden. ■

Strom aus Holz

Lignin, ein Nebenprodukt aus der Zellstoffverarbeitung, wurde bisher meist thermisch verwertet. Nun wird es zum Baustein neuer Energiespeicher – made in Thüringen.

Von Kathrin Schwarze-Reiter

Im Holzwerk kreischen die Sägen. Stämme werden zerteilt, Holzfasern freigelegt. Zurück bleibt, was eher nicht wertschöpfend weiterverarbeitet werden kann: Späne, Rinde – und ein brauner, faseriger Stoff namens Lignin. Weltweit fallen davon jedes Jahr schätzungsweise 50 bis 70 Millionen Tonnen an. Ein Stoff also, der reichlich vorhanden ist – und bisher kaum genutzt wird. Denn Lignin landet meist im Brennkessel, um Energie zu gewinnen.

»Lignin ist kein Abfall, sondern ein spannendes Nebenprodukt«, sagt Dr. Lukas Medenbach, Chemiker am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS im thüringischen Arnstadt. Was bisher verfeuert wurde, rückt nun ins Zentrum eines vom Freistaat Thüringen geförderten Forschungsprojekts: ThüNaBsE, kurz für Thüringer Natrium-Ionen-Batterie für skalierbare Energiespeicherung. Forschende vom Fraunhofer IKTS und der Friedrich-Schiller-Universität Jena – beide Partner des Center for Energy and Environmental Chemistry (CEEC) – entwickeln darin eine neuartige Natrium-Ionen-Batterie, bei der Lignin eine zentrale Rolle spielt. Aus einem Nebenprodukt wird eine Komponente zum Energiespeichern – die negative Elektrode einer Batterie.

Lignin ist das, was Holz zusammenhält. Während Zellulose die langen, zugfesten Fasern bildet, wirkt Lignin wie ein natürlicher Kleber: Es vernetzt die Fasern, macht Holz hart, widerstandsfähig und langlebig. Chemisch besteht Lignin aus Biopolymeren, die sich aus verschiedenen aromatischen Kohlenstoffbausteinen zusammensetzen. In Pflanzen werden sie gezielt in die Zellwand eingelagert. Dort bewirken sie das, was Botaniker Verholzung nennen: die Umwandlung weicher Pflanzenzellen in feste, tragfähige Strukturen. Genau diese Eigenschaften machen Lignin auch für die Batterieforschung interessant.

Heute dominieren Lithium-Ionen-Batterien den Markt. Lithium wird etwa in Chile und Argentinien aus Salzlaken unter hohem Wasserverbrauch gefördert oder in Australien aus Hartgestein mit großem Energieeinsatz gewonnen. »Deutschland ist hier stark abhängig von internationalen Handelsbeziehungen«, sagt Medenbach. »Lithium wird zwar nicht morgen knapp werden, aber es ist ein teurer, konfliktreicher und strategisch sensibler Rohstoff.«

Lignin dagegen ist gut verfügbar. Es kommt regional vor, ist biobasiert und erneuerbar. Auch Natrium muss nicht aufwendig abgebaut werden. Als Bestandteil von Kochsalz gehört es zu den am besten verfügbaren Elementen der Erde. Die etwas geringere Energie- und Leistungsdichte von Natrium-Ionen-Batterien begrenzt zwar bestimmte Anwendungen, macht diese aber zugleich zu günstigen und robusten Speichern – überall dort, wo Versorgungssicherheit wichtiger ist als maximale Leistung.

»Unser Projektpartner, Prof. Martin Oschatz und sein Team vom Institut für Technische Chemie und Umweltchemie der Universität Jena, erhitzt das Lignin unter Ausschluss von Sauerstoff«, erklärt Medenbach. »Dabei werden Wasserstoff und Sauerstoff aus dem Material entfernt. Was übrig bleibt, ist ein Kohlenstoff mit einer speziellen Struktur.« Dieser sogenannte Hard Carbon ist extrem fest, aber innerlich ungeordnet – mit Hohlräumen und Zwischenräumen. Genau diese Struktur eignet sich für die großen Natrium-Ionen: Sie lagern sich ein und lassen sich wieder aus der Struktur entfernen – eine Grundvoraussetzung für wiederaufladbare Batterien.

Damit Natrium-Ionen-Batterien perspektivisch in Serie gehen können, braucht es allerdings gleichbleibende Qualität. Biogene Rohstoffe schwanken qualitativ – je nach Holzart, Wachstum oder Witterung. »Die größte Herausforderung ist die Reproduzierbarkeit«, sagt Dr. Lukas Medenbach. »Wenn sich die Eigenschaften von Charge zu Charge ändern, wird es für Batterien problematisch.« Im Projekt ThüNaBsE kommt deshalb Lignin zum Einsatz, das der Industriepartner Mercer Rosenthal GmbH mit einem patentierten Verfahren besonders rein und konstant herstellt. Erst danach beginnt die eigentliche Verarbeitung zur Batterie: Carbonisierung, Zerkleinerung in Hochleistungsmühlen, Mischung mit leitfähigen Zusätzen und einem ebenfalls biobasierten Bindemittel. Am Ende entsteht eine negative Elektrode – und schließlich eine komplette Natrium-Ionen-Zelle im Labormaßstab.

Lignin wird dabei bewusst nur in der Anode eingesetzt. Dort ist die Speicherkapazität des Hard Carbons gefragt. Für die positive Elektrode braucht es hingegen Materialien, die Natrium-Ionen bei höherem elektrischen Potenzial stabil aufnehmen können. Hier setzen die Forschenden auf Berliner-Blau-Analoga: ungiftige Eisenverbindungen, die bereits vor rund 200 Jahren als Pigmente verwendet wurden. Sie sind gut verfügbar, umweltverträglich und speichern Natrium-Ionen zuverlässig. Auf kritische Metalle wie Kobalt oder Nickel verzichtet das Team bewusst, auch der Fluoranteil in Elektroden und Elektrolyt soll möglichst niedrig bleiben.

Weltweit fallen jedes Jahr schätzungsweise

50–70

Millionen Tonnen Lignin an.

Nachhaltige Batterie aus Thüringen

Auch wenn eine Serienproduktion ligninbasierter Natrium-Ionen-Batterien noch in der Zukunft liegt, ist das Projekt bereits deutlich mehr als ein reiner Laborversuch. Es zeigt, wo solche Stromspeicher eines Tages sinnvoll eingesetzt werden könnten: überall dort, wo Gewicht und maximale Energiedichte zweitrangig sind – in stationären Speichern, die Wind- und Solarstrom puffern, in Gabelstaplern und Flurförderzeugen mit klaren Einsatzprofilen oder in Microcars für kurze Distanzen.

Derzeit entstehen erste Kleindemonstratorzellen im Batterietestzentrum des Fraunhofer IKTS in Arnstadt, am Standort Hermsdorf sowie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Ergänzt werden die Experimente durch realitätsnahe Simulationen. Die Ergebnisse stimmen optimistisch: »Nach 100 Lade- und Entladezyklen zeigt die Laborzelle bislang kaum Alterung«, sagt Medenbach. Bis zum Projektende sollen 200 Zyklen für eine 1-Ah-Vollzelle erreicht werden.

»Wir wollen beweisen, dass man Batteriewertschöpfung auch regional denken kann«, sagt Dr. Lukas Medenbach. Dass Rohstoffe nicht zwingend aus fernen Minen kommen müssen, sondern auch aus bestehenden industriellen Kreisläufen stammen können. Und dass Materialien aus der Bioökonomie mehr sind als ein Nachhaltigkeitsversprechen – nämlich technisch belastbar. ■

Foto: Frank Muckenheim/plainpicture



Jeder Handgriff sitzt: Eine Fraunhofer-Technologie erleichtert die Arbeit im OP.

Wo bin ich – und wenn ja: wie weit?

Wird am Herzen minimalinvasiv operiert, orten bislang große Apparaturen wie Röntgen- und Ultraschallgeräte die Sonde im Körper. Fraunhofer-Forschende haben gemeinsam mit Partnern nun eine spezielle Fasersonde entwickelt, die ihre Position unter der Haut der Patienten selbst mitteilen kann – und somit neue Möglichkeiten im OP schafft.

Von Yvonne Weiß

Präzise steuert die Ärztin die Sonde auf das Herz des Patienten zu. Während der Operation trägt sie eine VR-Brille, durch die sie in Echtzeit verfolgen kann: Noch ein kurzes Stück, dann ist sie am Ziel. Ein Punkt bewegt sich direkt vor ihren Augen im Brillenglas fort und zeigt ihr, wo im Körper sich die Sondenspitze aktuell befindet. Alles ohne Röntgenapparat, alles ohne Ultraschallgerät.

So könnte eine minimalinvasive Operation am Herzen dank einer neuen Technologie künftig ablaufen. Im Verbundprojekt QUANTIFISENS entwickelten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF gemeinsam mit Partnern eine sich selbst lokalisierende Fasersonde für den Operationssaal.

»Unsere Sonde ortet sich selbst, sie weiß also zu jedem Zeitpunkt, wo sie sich gerade im Körper befindet«, erklärt Dr. Thomas Schreiber, Leiter der Abteilung Laser- und Fasertechnologien am Fraunhofer IOF. Im Optimalfall können Ärztinnen und Ärzte so künftig auf die Überwachung mit Röntgen- oder Ultraschallgeräten verzichten – und die Beteiligten vor der andauernden Röntgenstrahlung während der Operation schützen.

Während ein Projektpartner an der Bildgebung arbeitet, die es Ärztinnen und Ärzten dank Laserbeleuchtung ermöglicht, unterschiedliche Gewebsschichten im Körper zu identifizieren, kümmern sich die Fraunhofer-Forschenden um die Entwicklung von Spezialglasfasern.

Bei der Herstellung von Fasern setzen Thomas Schreiber und sein Team auf spezielle Geometrien: In einen Glasstab bohren sie Löcher, durch die später – mithilfe von Reflektoren, die die Forschenden in die Faser integrieren – präzise Licht geleitet wird.

Kleine Veränderungen in der Laserstrahlung erfassen, wie stark und in welche Richtung die Faser an einzelnen Punkten gebogen ist. Mithilfe einer Software lässt sich damit anschließend die Lage in einem dreidimensionalen Raum berechnen – in diesem Fall im Körper.

In Kombination mit speziellen Kalibrierungsverfahren und einer KI-gestützten Datenauswertung, an denen die Projektpartner arbeiten, erscheint die Sonde schließlich als sich bewegender Punkt in Echtzeit auf der VR-Brille: »Das bietet künftig völlig neue Möglichkeiten für schonendere und präzisere Eingriffe – bei gleichzeitig verbesserter Patientensicherheit, Behandlungsqualität und Effizienz im Gesundheitswesen«, erklärt Dr. Stephanie Hesse-Ertelt, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IOF und leitende Forschungs- und Entwicklungskoordinatorin des Verbundprojekts.

Einen Demonstrator der Technologie gibt es, an einem Patienten-Dummy konnten die Forschenden die Entwicklung bereits erfolgreich testen.

Neben dem Einsatz im Operationssaal kann die Spezialfaser aufgrund ihrer Eigenschaften auch für andere Bereiche interessant werden: Da Glasfasern nicht von magnetischen und elektrischen Feldern gestört werden und auch akustische Signale sowie Temperaturveränderungen erfassen, könnten sie auch in Brücken, Gebäuden oder Windrädern als Sensoren genutzt werden. Verborgene Gefahren wie Blitzeinschläge, Spannungen im Beton oder ein ausgebrochenes Feuer lassen sich zwar bereits heute identifizieren, sie können dann jedoch auch rechtzeitig mit genauer Position erkannt werden. Thomas Schreiber ist fasziniert: »Mich begeistert die eindrucksvolle Präzision, die wir mithilfe von Laser- und Fasertechnologie erreichen. Das beeindruckt mich Tag für Tag aufs Neue.« ■

»Unsere Sonde ortet sich selbst, sie weiß also zu jedem Zeitpunkt, wo sie sich gerade im Körper befindet.«

Dr. Thomas Schreiber, Fraunhofer IOF

Foto: David Agüero Muñoz/Westend61/mauritius images



Palmöl-Alternative aus Treibhausgasen

Palmöl ist weltweit das am häufigsten verwendete Pflanzenöl. Die Folgen für Umwelt und Klima sind katastrophal. Jetzt ist es einem Forschungsteam gelungen, einen hochwertigen Ersatz zu erzeugen – aus klimaschädlichen Industrieabgasen.

Von Dr. Sonja Endres

Palmöl ist das Lieblingsöl der Industrie: haltbar, hitzebeständig, geschmacksneutral, gut verarbeitbar. Und: Es ist billig zu haben. Zumindest solange die ökologischen und sozialen Folgekosten vernachlässigt werden – von der Rodung der Regenwälder bis zum Klimaschaden.

Einen hochwertigen Palmöl-Ersatz konnten jetzt Forscherinnen und Forscher aus dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB am Standort Straubing gemeinsam mit Partnern herstellen. Ihr Rohstoff: Ethanol, gewonnen aus Industrieabgasen. Darauf ist Dr. Vanessa Wegat, die am Fraunhofer

»Damit sind wir gleich doppelt nachhaltig.«

Dr. Vanessa Wegat, Fraunhofer IGB



Ölpalmen, so weit das Auge reicht: Die größten Plantagen umfassen leicht 500 bis 1000 Quadratkilometer.

Foto: Anks Rachman/istockphoto

IGB das Projekt leitet, besonders stolz: »Damit sind wir gleich doppelt nachhaltig.«

Die klimaschädlichen Kohlendioxide, Kohlenmonoxide und Methan werden vom Fraunhofer-IGB-Kooperationspartner LanzaTech direkt an der Fabrik abgefangen und an Bakterien verfüttert, die sie zu Ethanol verstoffwechseln. Wegat: »Diese Gase sind quasi deren Zucker. Das ist ein ganz normaler fermentativer Prozess, wie wir ihn beispielsweise auch vom Bierbrauen kennen.« Nur dass hier Gase zu Ethanol umgesetzt werden, nicht die im Getreide enthaltene Stärke.

Anschließend konsumieren spezielle Hefepilze, die natürlicherweise zum Beispiel auf Camembert und anderen Käsesorten vorkommen, den Alkohol und wandeln ihn zu dem palmölähnlichen Fett um. »Dabei muss man ein bisschen aufpassen«, sagt Wegat und schmunzelt. »Wenn die Hefen zu viel Ethanol bekommen, geht's ihnen ähnlich wie uns, wenn wir zu tief ins Glas geschaut haben. Ab einer bestimmten Menge wird es toxisch.« Um den Prozess anzukurbeln, werden die Hefen in einem Bioreaktor gemeinsam mit einem Nährmedium und unter Zuführung von Sauerstoff und Wärme gerührt. Wegat: »Über die Veränderung der Prozess-Parameter, also beispielsweise wie viel Sauerstoff oder welche Salze und Vitamine wir dazugeben, können wir die Zusammensetzung der Fettmischung steuern.« Das Verfahren haben Wegat und ihr Team jetzt gemeinsam mit ihrem Industriepartner, der Schweizer Mibelle Group, zum Patent angemeldet.

Das Fett ist vielseitig einsetzbar, verfügt über vergleichbare Eigenschaften wie Palmöl und ist qualitativ sogar hochwertiger. Wegat: »Wir haben den Prozess so angepasst, dass ein hoher Anteil an ungesättigten Fettsäuren entsteht. Diese sind besonders für kosmetische Produkte, aber auch für Lebensmittel vorteilhaft, weil sie gesünder sind.« In Cremes schützen und stärken ungesättigte Fettsäuren die Hautbarriere. Außerdem sorgen sie dafür, dass die enthaltenen Wirkstoffe besser von der Haut aufgenommen werden können.

Die Mibelle Group, die schon lange an nachhaltigen Alternativen für ihre Rohstoffe arbeitet, will den Palmöl-Ersatz möglichst bald in die Anwendung bringen. In ihren Laboren wurden bereits erste vielversprechende Cremes und Lotionen mit dem neuen Fett hergestellt und getestet.

Um die Kosten im Produktionsprozess zu senken, wollen Wegat und ihr Team weitere Bestandteile der Biomasse nutzen, die bei der Fermentation im Bioreaktor entstehen. Wegat: »Da stecken ja nicht nur die hochwertigen Fettsäuren drin, sondern auch Proteine mit einem hervorragenden Aminosäureprofil, die für die Kosmetik- und Lebensmittelindustrie sicher interessant sind.« Zurzeit arbeiten die Forscherinnen und Forscher an einem möglichst umweltfreundlichen und effektiven Weg, alle wertvollen Inhaltsstoffe zu extrahieren und die Produktion zu skalieren. So könnten viele bisher palmölbasierte Produkte nicht nur erheblich nachhaltiger werden, sondern auch unabhängiger von Lieferketten und Rohstofflieferanten. ■

Forschung für den Ernstfall

Naturgewalten, Anschläge, Stromausfall – unsere Welt ist verletzlich. Im SIRIOS Lab in Berlin forschen vier Fraunhofer-Institute gemeinsam daran, wie wir im Krisenfall schneller Herr der Lage werden.

Von Mandy Bartel



Sabotage und menschliches Versagen, Unwetter und Cyberangriffe: Es gibt viele Gefahren für kritische Infrastrukturen. Allein 2025 verzeichnete das Bundeskriminalamt 321 versuchte Sabotageakte auf Energienetze, Bahnanlagen oder Funkmasten in Deutschland. Die Auswirkungen dadurch entstehender Systemausfälle beschäftigen Prof. Ulrich Meissen vom Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin: »Die Resilienz unserer Infrastrukturen muss grundsätzlich und unabhängig von Ursachen erhöht werden.« Am kürzlich neu eröffneten SIRIOS Lab forscht Meissen an innovativen Sicherheitslösungen.

Resilienz hat ihren Preis

Dass Resilienz und Sicherheit immer auch eine Frage des Geldes sind, mussten er und seine Kolleginnen und Kollegen bereits schmerzlich spüren. Und das ausgerechnet in Berlin, das im Januar den größten Stromausfall der Nachkriegsgeschichte erlebt hatte. Nachdem das frühere Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS 2022 mit Unterstützung der öffentlichen Hand gegründet worden war, wird es seit 2024 aufgrund von Sparmaßnahmen nicht mehr vom Bund gefördert. In einer Zeit, in der die Bedrohungslagen ernster, die Infrastrukturen komplexer und die Anforderungen an Krisenreaktion höher werden, wurde das Team damit in seiner Forschung zurückgeworfen. Doch die Forschenden zeigen Entschlossenheit: »Wir haben das SIRIOS Lab jetzt in Eigenregie mithilfe des Berliner Innensenats neu eröffnet, um kritischen Infrastrukturbetreibern, Industrie und Sicherheitsbehörden eine offene Plattform zu bieten«, so Meissen. »Damit wollen wir zeigen, welches Potenzial für die öffentliche Sicherheit in Forschung und Vernetzung steckt, und dieses Potenzial gemeinsam mit unseren Partnern und zum Wohle aller in die Anwendung bringen.«

Im SIRIOS Lab gehe es nicht darum, hundertprozentige Sicherheit zu schaffen – die gibt es nicht –, sondern darum, Auswirkungen und mögliche Kaskadeneffekte von Krisen oder Ausfällen abzumildern. Denn Meissen ist überzeugt: »Wir nutzen noch längst nicht alle technischen Mittel aus, die uns aus der Forschung zur Verfügung stehen würden.« Damit meint er vor allem die Ausstattung der Einsatzkräfte in den Lagezentren mit einem besseren Handwerkszeug. Genau damit beschäftigen sich vier Fraunhofer-Institute im SIRIOS Lab. Dort bringen sie ihre Expertise in den Bereichen Simulation, Lagebilder, Krisenkommunikation und Visualisierung für die öffentliche Sicherheit zusammen.

Um Hinweise eher wahrzunehmen und Störungen oder Sabotagen idealerweise zu verhindern, ist Videoerkennung, unterstützt durch Künstliche Intelligenz, ein Schwerpunkt der Forschenden. Kameras liefern längst nicht mehr nur Bilder. Mithilfe intelligenter Videoanalyse lassen sich auffällige Bewegungen, ungewöhnliche Personenströme oder unbefugte Zutritte



Besser vorbereitet in der Krise: Fraunhofer-Forschende haben rettende Ideen.

Foto: Michael Bihlmayer&Chromorange/dpa

automatisch erkennen und bewerten. Das gilt für sensible Infrastrukturen wie Umspannwerke ebenso wie für Großveranstaltungen oder Verkehrsknotenpunkte. Was früher im dichten Gedränge kaum überschaubar war, wird heute – auch durch die Auswertung von Drohnenbildern – rechnerisch erfassbar: Wo ballen sich Menschen? Wo deuten sich gefährliche Situationen an? »Die Systeme analysieren Bewegungsmuster ganzer Gruppen und kritische Situationen, können aber anonymisiert auch präzise einzelne Personen erfassen«, sagt Dr. Thomas Golda, Meissens SIRIOS-Kollege vom Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe. »So können Betreiber oder Einsatzkräfte frühzeitig reagieren, im besten Fall noch bevor Schaden entsteht.«

»Doch niemand kann für alle Eventualitäten vorsorgen«, wirft Ulrich Meissen ein. Deshalb sei Simulation die Grundlage für vorausschauende und auch wirtschaftliche Planung. Im SIRIOS Lab simulieren die Forschenden, was passiert, wenn zentrale Knotenpunkte ausfallen, Kommunikationsnetze zusammenbrechen oder sich Kaskadeneffekte durch verschiedene Infrastrukturen fortpflanzen. Dazu greifen sie auf reale Daten zurück – etwa aus der Videoanalyse von Großveranstaltungen oder vergangenen Krisenlagen gepaart mit Informationen zu den Rahmenbedingungen. Wie bewegen sich Menschenmengen? Wie reagieren sie auf Warnungen? Welche nachgelagerten Systeme sind in welcher Reihenfolge betroffen? Diese Erkenntnisse fließen in Simulationsmodelle ein, mit denen sich unterschiedliche Szenarien durchspielen lassen: vom Stromausfall über Evakuierungen bis zur Wiederinstandsetzung. »Das Ziel ist nicht, die eine Zukunft vorherzusagen, sondern Entscheidungsräume zu eröffnen«, sagt Meissen. »Wer weiß, was wahrscheinlich passiert, kann schneller und gezielter handeln.« Als ein Beispiel, das während des Stromausfalls in Berlin gut lief, führt er die schnelle und gut organisierte Evakuierung von Altenheimen und hilfsbedürftigen Menschen an. »Das ist eine Problemstellung, die man relativ gut voraussehen und damit vorbereiten kann.«

Kommunikation unter Extrembedingungen

Weit weniger gut funktionierte die Kommunikation. Die Weisheit, dass jede Krise auch eine Kommunikationskrise ist, bewahrheitete sich auch in Berlin: Mobilfunknetze fielen aus, Warnsysteme funktionierten nur noch eingeschränkt, Informationen waren schwer zugänglich. »Die Organisation der Kommunikation ist zentral«, weiß Ulrich Meissen. Darum untersuchen die Experten im SIRIOS Lab, wie Kommunikation auch dann aufrechterhalten werden kann, wenn klassische Netze versagen. »Batteriegepufferte Notfallsysteme können den Kommunikationsabbruch circa zwei Stunden hinauszögern. Aber klar ist auch: Ich kann nicht jeden Funkmast mit Notstromgeneratoren ausrüsten.« Deshalb ist das Ziel, mit begrenzten Mitteln möglichst viele Menschen zuverlässig zu erreichen. Mithilfe von Simulationen sowie Daten aus Warnsystemen wie dem von Fraunhofer betriebenen KATWARN und in Zusammenarbeit mit Soziologen analysieren die Teams, wo Informationen besonders effektiv verbreitet werden können – etwa über bestimmte Orte, Personen oder Strukturen. So können Multiplikatoren effizienter genutzt werden und lokale Notfall- und Ersatznetze gezielter dort aufgebaut werden, wo sie den größten Nutzen haben.

Vernetztes Lagebild für bessere Entscheidungen

Wo auf der einen Seite zu wenig Informationen fließen, haben Krisenstäbe auf der anderen Seite häufig ein ganz anderes Problem: zu viele, zu unübersichtliche Informationen aus unterschiedlichsten Quellen – von Infrastrukturbetreibern, Einsatzkräften, Sensoren, der Bevölkerung. Was fehlt, ist oft ein gemeinsames, verständliches Lagebild. »Wir arbeiten an vernetzten Systemen, die Informationen bündeln, auswerten und übersichtlich darstellen«, so Golda. »An unserem digitalen Lagetisch lassen sich etwa aktuelle Daten mit Simulationen verknüpfen: Was passiert, wenn wir hier eingreifen? Welche Folgen hat es, wenn wir dort Ressourcen verlagern? So erhalten Entscheiderinnen und Entscheider einen Überblick und belastbare Grundlagen für ihr Handeln.« Der Lagetisch wird dabei zum verbindenden Element zwischen bislang isolierten Systemen. Eingebunden in eine solche vernetzte Sicherheitsstruktur ist – neben Systemen von Polizei und Feuerwehr, von Betreibern und Ämtern – beispielsweise auch die Software KatHelfer PRO, mit der Behörden im Katastrophenfall das Potenzial von Spontanhelfenden koordiniert nutzen und bestmöglich einsetzen können. »Wahrscheinlich hätte es beim Stromausfall in Berlin geholfen, schneller vor die Lage zu kommen, wenn im Lagezentrum alle relevanten Informationen übergreifend, besser auswertbar und in einem einheitlichen Lagebild verfügbar gewesen wären«, ist Ulrich Meissen überzeugt. Er und seine Kolleginnen und Kollegen werden im neu eröffneten SIRIOS Lab den Vorfall gemeinsam mit KRITIS-Betreibern und Einsatzkräften aufarbeiten und analysieren, um daraus weiter zu lernen und ihre Sicherheitslösungen voranzutreiben. ■

Im Loop statt im Müll

Ein T-Shirt für vier Euro, die Hose für zehn: Der Fast-Fashion-Trend ist ungebrochen. Kaum getragen, schon wandert die meist minderwertige Ware in den Abfalleimer. Die Textilien können größtenteils nicht recycelt werden – bis jetzt.

Von Dr. Sonja Endres

Fast elf Millionen Tonnen Textilabfälle fallen in der EU Jahr für Jahr an. Ein Großteil wird verbrannt oder landet auf Mülldeponien, weniger als ein Prozent wird bisher zu neuen Textilien recycelt. Das wollen Dr. Thomas Fehn und sein Team vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT ändern. Im EU-Projekt »Autoloop« arbeiten sie zusammen mit 14 Partnern aus 7 Ländern daran, Textilien im geschlossenen Kreislauf zu führen. Während es für Baumwoll-Fasern bereits etablierte Recycling-Verfahren gibt, fehlen sie für synthetisches Mischgewebe, aus dem etwa die Hälfte der weltweit produzierten Kleidung besteht. Fehn: »Hier greifen Polyester- und Baumwoll-Fasern so ineinander, dass es unheimlich schwierig ist, sie zu trennen.«

Diese Trennung ist jetzt dem finnischen Projektpartner gelungen, der Aalto-Universität in Helsinki. Das in dem innovativen Verfahren zurückgewonnene Polyethylenterephthalat, kurz PET, aus dem die meisten Polyester-Fasern hergestellt sind, ist allerdings nicht sortenrein, besteht also aus unterschiedlichen PET-Typen. Außerdem enthält es Farbstoffe, Imprägnierungen, Weichmacher, Stabilisatoren. Fehn erklärt: »Man kann dieses PET daher nicht einfach so wieder für die Produktion neuer Fasern verwenden, sondern muss die Basischemikalien einzeln extrahieren.« Dafür nutzen er und sein Team Pyrolyse – ein Verbrennungsprozess ohne Sauerstoff bei sehr hohen Temperaturen. Dabei wird der Ausgangsstoff nicht zerstört, sondern in seine molekularen Bestandteile zerlegt.

Bei der Aufspaltung von PET entsteht kristalline Terephthalsäure, die zusammen mit anderen Zersetzungsprodukten oft zähe, wachsartige Ablagerungen bildet – Pyrolyse-Reaktor oder Leitungen können verstopfen. Für dieses Problem haben die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher eine Lösung entwickelt. Sie fügen dem Reaktionssystem bei etwa 400 Grad Celsius Wasserdampf hinzu. Fehn: »Der Wasserdampf schneidet wie eine Schere die Moleküle auseinander. So ist es uns gelungen, die PET-Polymerkette gezielt in ihre Bausteine zu zerlegen und Terephthalsäure mit einem sehr hohen Reinheitsgrad von nahezu 100 Prozent komplett abzuscheiden, ohne dass etwas verklebt.«

Terephthalsäure ist ein Hauptbestandteil von PET. Sie bestimmt maßgeblich die



Der automatisierte Ansatz könnte den Sortierdurchsatz verzehnfachen und gleichzeitig die Kosten um

50–75

Prozent senken.

Festigkeit, Stabilität und Qualität der synthetischen Textilfasern und wird fast vollständig aus Erdölrohstoffen hergestellt. Fehn: »Die Rückgewinnung ist daher ökologisch besonders wertvoll.« Nach einer Reinigung und Repolymerisation zu PET kann sie erneut zu Fasern versponnen werden.

Damit aus zerschlissenen Pullovern oder löchrigen Hosen jedoch tatsächlich Neuware werden kann, braucht es zusätzlich ein intelligentes Sammel- und Sortiersystem. Eine wichtige Voraussetzung hat die EU mit der Getrenntsammlungspflicht für Alttextilien geschaffen, die seit dem 1. Januar 2025 gilt. Demnach dürfen diese nicht mehr in den Restmüll, sondern müssen separat entsorgt werden, um Recycling und Wiederverwendung zu fördern. In Sortieranlagen wird der Textilmüll anschließend von tragbarer Kleidung getrennt. Das britische Start-up Zori Tex, ebenfalls Kooperationspartner im Projekt Autoloop, nutzt KI-gestützte Bildverarbeitung, um die Altkleider nach Faserart zu klassifizieren. Fehn erklärt: »Die Textilien werden auf einem großen Förderband transportiert. Die KI erkennt Mischgewebe, das einen hohen PET-Anteil hat. Diese Teile werden mithilfe eines Luftstroms gezielt vom Band geblasen.« Der automatisierte Ansatz könnte den Sortierdurchsatz verzehnfachen und gleichzeitig die Kosten um 50 bis 75 Prozent senken.

Von durchschnittlich 60 neu gekauften Kleidungsstücken pro Jahr werden 24 selten oder nie getragen.

Um die Sortierung in Zukunft weiter zu vereinfachen und zu verfeinern, arbeitet im Autoloop-Team zudem die deutsche Firma TLX an einer intelligenten Tracer-Technologie. Mithilfe von Lasern sollen unsichtbare Marker in die Fasern eingeschrieben werden, die später Rückschlüsse auf die exakte Material-Zusammensetzung erlauben.

Fehn ist überzeugt: »Die Ideen und Technologien sind da, sie müssen nur umgesetzt werden – so kann die geschlossene Kreislaufführung gelingen.« ■

Foto: ronstik/istockphoto



Gründen mit Fraunhofer

Ein Start-up revolutioniert den Zahnersatz

Von Beate Strobel

Der Goldpreis steigt. Der Fachkräftemangel wird immer größer. Und die Menschen werden älter. Diese drei Herausforderungen haben neben der Aktualität eine weitere Schnittmenge: Zahnprothetik. Denn mit einer höheren Lebenserwartung wächst auch die Notwendigkeit von prothetischem Zahnersatz. Doch der hohe Goldpreis hat ebenso wie der hohe Handwerksanteil dazu geführt, dass Teleskopprothesen immer seltener mit dem Edelmetall hergestellt werden – obwohl es auch im übertragenen Sinn der Goldstandard ist, wenn es um hochpräzise Passung, Qualität und Nutzerfreundlichkeit geht. Eine industrielle Fertigung gibt es zudem bislang nur für Zahnersatz ohne Goldanteil oder günstige Alternativlösungen.

Das Start-up FIDENTIS, eine Ausgründung des Fraunhofer-Instituts für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV in Augsburg, hat eine Lösung für dieses Problem entwickelt: Mithilfe eines innovativen Multimaterial-3D-Druckverfahrens stellt FIDENTIS Teleskopprothesen her, die nicht nur den Einsatz von Gold minimieren, sondern auch über eine voll automatisierte Prozesskette entstehen – Voraussetzung für die Serienproduktion patientenindividueller Prothesen. »Wir schließen die Lücke zwischen handwerklicher Präzision und industrieller Effizienz«, fasst es Dr.-Ing. Max Horn zusammen. Der Mitgründer des Start-ups und CEO von FIDENTIS erklärt: »So verkürzen wir die Herstellungsdauer – und garantieren zugleich eine konstant hohe Qualität.«

Erst Kernfusion, dann Zahnmedizin

Seit 2017 befassen sich Forschende am Fraunhofer IGCV mit additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung komplexer Multimaterialbauteile. Ziel ist, unterschiedliche Metalle in nur einem Druckvorgang stoffschlüssig miteinander zu verbinden. Die Grundidee der von FIDENTIS weiterentwickelten Technologie entstand im Rahmen des vom Bayerischen Wirtschaftsministerium kofinanzierten Großprojekts »MULTIMATERIAL-Zentrum Augsburg« – ursprünglich mit der Idee, sie etwa in der Kernfusion zu nutzen. Das Thema Zahnersatz brachte Josef Schweiger, Leiter des zahntechnischen Labors an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München, ins Spiel, erzählt Max Horn. »Er hatte erste Anwendungsfälle aus der Multimaterialfertigung gesehen und meinte, wenn wir das mit Edelmetall und deutlich filigraner hinbekämen, sei das ein Business Case.«

Der Wirtschaftsingenieur arbeitete damals ebenso wie Timo Schröder und Lukas Langer im Projekt »MULTIMATERIAL-Zentrum Augsburg«. Gemeinsam



Sieht gut aus: Ein Multimaterial-3D-Druckverfahren ermöglicht kostengünstige Prothesen mit Goldanteil und hochwertiger Passung.

brachten sie die Ausgründungsidee in die Phase 1 des AHEAD-Programms ein, mit dem die Fraunhofer-Gesellschaft Gründungswillige finanziell, mit Networking-Veranstaltungen, Workshops und Coaching unterstützt. »Wir haben während der Corona-Pandemie nach Feierabend und an den Wochenenden die Technologie weiterentwickelt«, so Horn. »Pünktlich zum Ende der Pandemie waren wir dann so weit, dass wir einen Prototyp für Teleskopprothesen herstellen konnten.«



Unternehmer mit Biss: das FIDENTIS-Team Timo Schröder, Johannes Lauer, Max Horn und Lukas Langer (v.l.n.r.).

Fotos: Leon Laskowski, Rebekka Amann

Mit einem Startkapital in Höhe von 1,62 Millionen Euro aus dem EXIST-Forschungstransferprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie brachte das Gründerteam – inzwischen ergänzt durch den Wirtschaftsingenieur Johannes Lauer, heute CCO bei FIDENTIS – die Technologie dann zur Marktreife. Das weltweit einzigartige, additive Verfahren auf Basis des Laser-Pulverbett-Schmelzens (LPBF) ermöglicht nun die gleichzeitige Verarbeitung von zwei oder mehr unterschiedlichen Legierungen – etwa Kobalt-Chrom-Legierungen für die Stabilität und Goldlegierungen für den sicheren Halt. Ein Roboter bringt das zusätzliche Pulvermaterial präzise ins Pulverbett ein. Die vollständig digitale Prozesskette beinhaltet auch das automatisierte Nachfräsen der Oberflächen auf Basis der Patientendaten.

Der gesamte Druckprozess ist rund 20-mal so schnell wie die bisherigen Methoden zur Herstellung von Teleskopprothesen. Ein hohes Tempo legt aber auch das Team von FIDENTIS vor: »Binnen 14 Monaten haben wir Halbzeuge hergestellt, die bereits Mitte 2025 den ersten Patientinnen und Patienten als Medizinprodukt eingesetzt wurden«, bilanziert Max Horn nicht ohne Stolz. »Dass ein Produkt in einem regulierten Markt so schnell ein hohes ›Technology Readiness Level‹ erreicht, ist für ein Start-up ziemlich außergewöhnlich.«

Kampf durch den Bürokratie-Dschungel

Vor allem angesichts der bürokratischen Herausforderungen, mit denen die Entrepreneure auf dem Weg zum eigenen Unternehmen konfrontiert wurden. »Alleine mit den sich ständig verändernden Anforderungen, Informationen und Prozessen Schritt zu halten, war schwierig. Mehr Pragmatismus im Ausgründungsprozess bei Fraunhofer würde Start-ups manches erleichtern«, urteilt Max Horn. Vertragsabstimmungen seien mitunter etwas träge und jeder Einzelprozess habe viel Papierkram bedeutet. Andererseits habe der Name Fraunhofer ihnen viele Türen geöffnet. Horn: »Jeder weiß sofort, dass es sich hier nicht um ›Jugend forscht‹ handelt, sondern um Spitzentechnologie.«

Inzwischen stecken die Gründer in den Vorbereitungen auf die Serienproduktion. Dafür wird dringend frisches Kapital benötigt, denn für den Aufbau eines Produktionsunternehmens braucht es nicht nur Geräte und teure Materialien, sondern auch Personal, wie Johannes Lauer betont: »2028 wollen wir inklusive Studierender auf zehn Vollzeitstellen anwachsen.« Beim Thema Recruiting sei der Name Fraunhofer ein wertvolles Asset. Aber sich alleine auf dieses Netzwerk zu verlassen, würde nicht ausreichen. »Unser Manager bei Fraunhofer Venture etwa hat uns auch über Fraunhofer hinaus stark mit anderen Gründern, Unterstützern und Organisationen vernetzt«, berichtet Johannes Lauer. »Das Ökosystem, das da um FIDENTIS entstand, ist für uns extrem wertvoll.«

Geplant ist außerdem noch für 2026 der Auszug aus dem Technikum des Fraunhofer IGCV und damit die räumliche Loslösung vom Mutterschiff. Aktuell finalisiert FIDENTIS den Umzug in eigene Räumlichkeiten in München. »Das ist der nächste große Meilenstein«, freut sich Lauer: »Eine Serienproduktion in den eigenen vier Wänden, die wir komplett zertifizieren lassen können, entsprechend der Medizinprodukteverordnung. Und dann die Produktion hochfahren – inklusive Internationalisierung.«

Seit fast zehn Jahren beschäftigt sich Max Horn bereits mit der Entwicklung der additiven Multimaterialfertigungs-Technologie; mit seinen Co-Gründern blickt er zudem auf zwei Jahre als Entrepreneure zurück. Den Schritt ins Unternehmertum hat er dennoch bislang nicht eine Sekunde bereut, denn: »Irgendwann will man das, was man beforscht, einfach auch auf die Straße und zum Fliegen bringen.« Dazu passt die Überlegung, die FIDENTIS-Technologie auch auf andere Branchen auszuweiten, etwa die Luft- und Raumfahrt – schließlich hat das Jungunternehmen mit Timo Schröder auch einen Raumfahrtingenieur im Gründungsteam. Lauer: »Das sind Themen, die wir mit dem Fraunhofer IGCV weiter beforschen können.« ■

Drohnen im Anflug

Verdächtige Drohnen bei Flughäfen und Bundeswehrkasernen, billig gebastelte Drohnen und Drohnen im Schwarm – Sicherheitsbehörden stehen vor Herausforderungen. Die Forschung reagiert mit praxisnahen Lösungen: Akustikbasierte Abwehrsysteme hören um die Ecke, hochauflösende Kameras helfen bei der Identifikation. Ein neues Innovationszentrum zur Drohnenabwehr arbeitet an den Schlüsseltechnologien der Zukunft.

Von Mehmet Toprak



Erkennen, identifizieren, abwehren – für jeden Schritt halten Fraunhofer-Forschende Technologien bereit.

Archibald M. Low war ein genialer Erfinder, Tüftler und Ingenieur. Nachdem er 1914 mit »Televista« einen frühen Vorläufer des Fernsehens vorgestellt hatte, ließ er als Captain der britischen Royal Flying Corps am 21. März 1917 ein unbemanntes Flugzeug funkgesteuert fliegen. Ebenfalls 1917 demonstrierte er eine ferngesteuerte Rakete. Beide Objekte hielten sich zwar nur für kurze Zeit in der Luft, doch seitdem gilt Low als »Vater der Drohne«.

Mehr als 100 Jahre später beschäftigen sich Forschende der Fraunhofer-Gesellschaft wieder mit Drohnentechnologie. Die Anlässe sind zahlreich und meist unerfreulich. Eine gute Nachricht allerdings bringen die aktuellen Forschungsergebnisse: Der Schutz kritischer Infrastrukturen ist möglich und machbar.

Sensoren, die um die Ecke hören

Ein Beispiel hierfür ist das akustische Sensorsystem des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie IDMT aus Oldenburg. Durch ausgeklügelte Mikrofontechnik und digitale Signalprozessoren (DSP) entdeckt es Flugobjekte, noch bevor sie in Sichtweite kommen – etwa bei schlechter Sicht, Nebel und Dunkelheit, wenn sie noch hinter einem Haus verborgen sind oder ein Waldstück durchfliegen. Für die erste Detektion genügt ein Mikrofon. Zur genaueren Peilung werden bis zu acht Richtmikrofone genutzt.

Das Einsatzszenario beschreibt Christian Rollwage, Gruppenleiter Audiosignalverbesserung: »Unser System ist nicht größer als eine Lunchbox und lässt sich mit kamerabasierten Erkennungstechniken kombinieren. Wenn die Mikrofone eine Drohne entdecken, schalten sich radarbasierte Systeme oder Kameras zu, die eine exaktere Ortung und Analyse ermöglichen.«

Die optische Verfolgung und Identifikation der Drohnen wird im Projekt Modeas des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB realisiert. Mehrere installierte Kameras haben den gesamten Horizont im Blick. Gerät ein Flugobjekt ins Bildfeld, schaltet sich automatisch eine bewegliche, hochauflösende Kamera mit Telebrennweite hinzu, die das Objekt verfolgt. Im nächsten Schritt wird das Objekt mithilfe KI-basierter Videoauswertung klassifiziert und die 3D-Position bestimmt. Alle Systeme orientieren sich am praktischen Bedarf von Sicherheitsbehörden und kritischen Infrastrukturanlagen. Das Fraunhofer IOSB bündelt zum Themenfeld Drohnenabwehr abteilungsübergreifend alle Kompetenzen in einer eigenen Taskforce unter Leitung von Dr. Nico Heußner. Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen beschäftigen sich auch mit der Bekämpfung von Drohnen.

Drohnenzentrum in Baden-Württemberg

Um die verschiedenen Forschungsprojekte bestmöglich zu koordinieren, haben sich schon 2002 elf Institute im Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (VVS) zusammengeschlossen. Zudem entsteht im Rahmen des Innovationscampus Sicherheit und Verteidigung Baden-Württemberg das »Innovationszentrum für Drohnen und Drohnenabwehr«. Beteiligt daran sind die Fraunhofer-Institute für Chemische Technologie ICT, für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB und das Karlsruher Institut für Technologie.

Ziel des geplanten Projekts: eine Forschungsinfrastruktur und Technologieplattform, die alle Aspekte des Themas abdeckt – von der Entwicklung innovativer Abwehrtechnologien bis hin zu neuartigen Drohnensystemen: zu Wasser, zu Land und in der Luft.

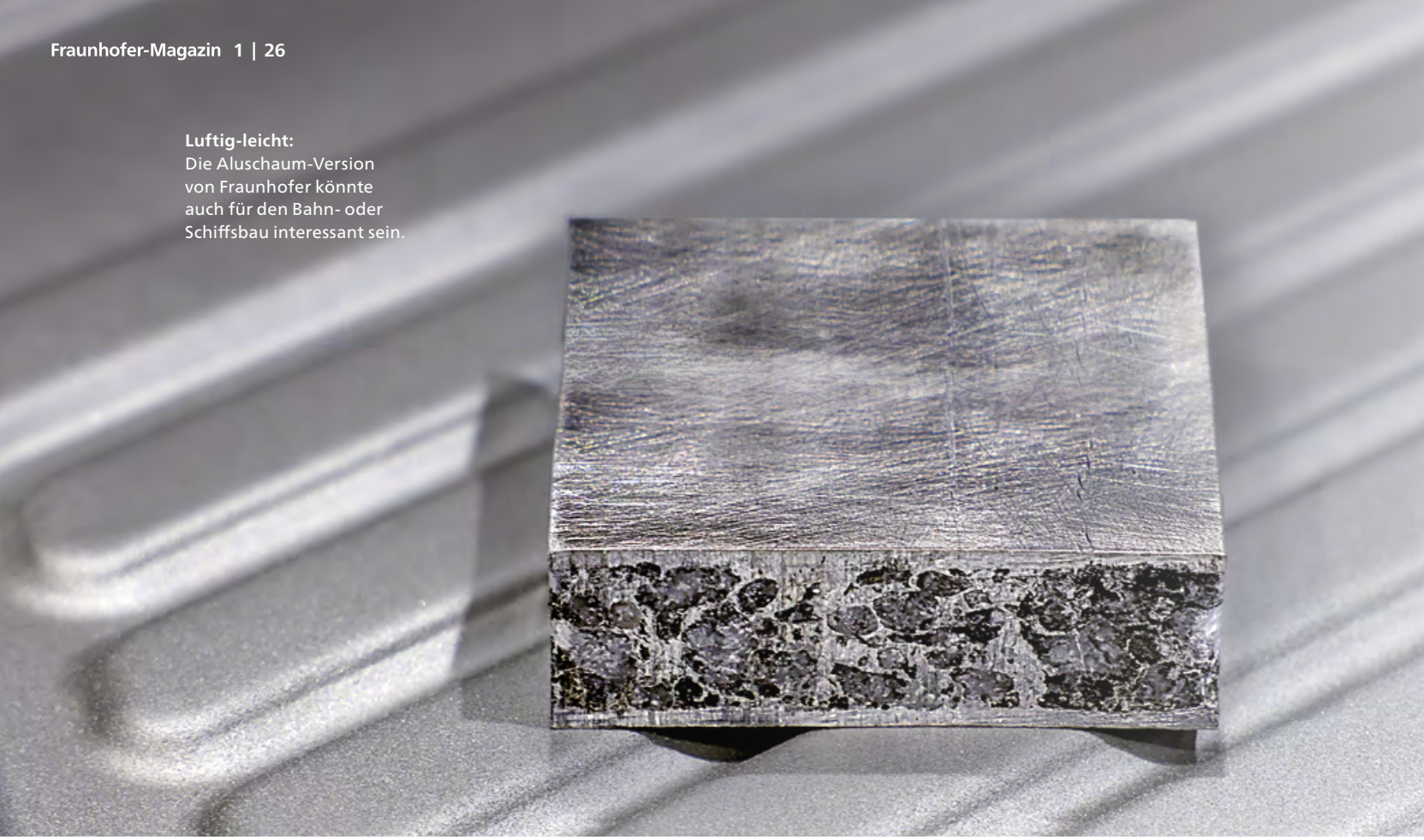
Dabei geht der Trend nicht zur ultimativen, mit Elektronik vollgestopften Superdrohne. Dr. Sebastian Wurster vom Fraunhofer ICT sagt: »Der Schlüssel für die Beherrschung der Drohnentechnologie liegt in der Herstellung. Die muss wirtschaftlich sein, dabei sehr flexibel und modular aufgebaut. Zudem ist schnelle Skalierbarkeit ein Muss. Nur wenn alle diese Anforderung erfüllt sind, sind wir in der Lage, auf neue Bedrohungsszenarien angemessen und rasch zu reagieren.«

> »Das ist ein Leuchtturmprojekt für die Industrie in Deutschland.«
>
> Prof. Jürgen Beyerer, Fraunhofer IOSB

Prof. Jürgen Beyerer, Institutsleiter am Fraunhofer IOSB, ergänzt: »Das geplante Innovationszentrum in Karlsruhe ist eine einzigartige Chance: Mit zukunftsweisenden Technologien und Herstellungsprozessen kombinieren wir Hightech mit Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz mit Skalierbarkeit. Das ist ein Leuchtturmprojekt für die Industrie in Deutschland. Es weist weit über die Bereiche Sicherheit und Verteidigung hinaus und stellt unsere technologische Souveränität unter Beweis.«

Flexibilität und modulare Konzepte garantieren auch die Fähigkeit, praxisnahe Lösungen schneller an den Start zu bringen. Nico Heußner ist zuversichtlich: »Unsere Motivation ist hoch, der Spirit gut. Und wir freuen uns weiterhin auf junge, motivierte Talente, die bereit sind, einen Beitrag für unsere Sicherheit zu leisten.« Archibald M. Low, der Vater der Drohne, braucht Urenkel. ■

Foto: Jens Büttner/dpa



Luftig-leicht:
Die Aluschaum-Version von Fraunhofer könnte auch für den Bahn- oder Schiffsbau interessant sein.

Schaumiger Schutz

Innovative Poren-Power für das E-Auto: Fraunhofer-Forschende haben eine Batteriehülle geschaffen, die leichter, sicherer und thermisch robuster ist.

Von Iris Röll

Eine Portion Luft macht das Leben manchmal deutlich besser – der Prosecco perlt auf der Zunge, das Schaumbad lässt einen unter Bergen aus weißen Bläschen abtauchen, der Hefezopf zergeht luftig auf der Zunge. Besonders raffinierte Schaumschläger arbeiten im Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz. Sie beschäftigen sich mit Aluminiumschaum und haben es jetzt geschafft, gemeinsam mit dem US-amerikanischen Automobilzulieferer Amsted daraus ein Gehäuse für Batterien von E-Autos herzustellen. Das ist nicht nur leichter und sicherer als herkömmliche Modelle, sondern kann auch die Batterie in ihrer »Temperatur-Wohlfühlzone« halten. Auf der Battery Show North America in Detroit präsentierten die Forscher kürzlich ihren Prototypen und starteten Gespräche mit Autofirmen.

»Sie müssen sich das vorstellen wie beim Backen«, beginnt Dr.-Ing. Thomas Hipke, wenn man ihn fragt, wie Aluminiumschaum hergestellt wird. Der Maschinenbau-Ingenieur leitet die Geschäftsfelder Leichtbau, Energiespeicher und Circular Economy am Fraunhofer IWU. Gemeinsam mit Projektleiter Dr.-Ing. Rico Schmerler entwickelte er das neuartige Batteriegehäuse. Dem Mehl beim Backen entspricht Aluminiumpulver. Dazu kommt ein Treibmittel – in diesem Fall Titanhydrid. Die Mischung wandert in den Ofen, der hier allerdings mit 600 bis 650 Grad Celsius ein wenig heißer sein muss als daheim in der Küche. In der Hitze spaltet sich das Titan vom Was-

serstoff ab; der Wasserstoff treibt dann die Poren auseinander. Hipke: »Das Volumen steigt um den Faktor 5 – damit hat der Schaum nur noch ein Fünftel der Dichte und des Gewichts von Aluminium.«

Stoßfest, hitzebeständig, flammhemmend

Beim Auto bedeutet weniger Gewicht weniger Energieverbrauch. Aber Batteriegehäuse müssen noch eine ganze Reihe weiterer Anforderungen erfüllen: Sehr stoßfest müssen sie sein, hitzebeständig und flammhemmend. Sie müssen aber auch Kollisionen abfedern bei Unfällen, Hitze von der Batterie ableiten und sie vor Minusgraden schützen. Deshalb sind Batteriegehäuse in E-Autos schon jetzt meist aus Aluminium, selten aus Stahl oder aus Kunststoff. Aber eben nicht aus Aluminiumschaum.

Der Schaum erfüllt all diese Anforderungen – und manche sogar deutlich besser als reguläres Aluminium. »So kann er bei Unfällen wesentlich mehr Verformungsenergie aufnehmen«, sagt Hipke. Bedeutet: mehr Sicherheit. Und er schafft es ganz hervorragend, die Temperatur der Batterie gleichmäßig zu halten. Das funktioniert durch eine Neuentwicklung der Fraunhofer-Spezialisten: Sie haben es geschafft, in die geschlossenen Poren des Aluminiumschaums ein Phase Change Material (PCM) einzubauen. PCMs sind Materialien, die Energie aufnehmen und abgeben können und dabei ihren Aggregatzustand wechseln – je kälter, desto fester, je wärmer, desto flüssiger. »Das kann man sich vorstellen wie beim Übergang von Wasser zu Eis und umgekehrt – mit dem Unterschied, dass wir beim PCM durch die chemische Zusammensetzung eine bestimmte Temperatur auswählen können, bei der sich das Material von fest zu flüssig umwandelt. In unserem Fall waren das 44 Grad Celsius«, so der Forscher. »Auf diese Weise schützen wir die Batterie vor Überhitzung.«

Wie aber bringen die Forschenden das PCM in die nur ein bis drei Millimeter großen geschlossenen Poren des Aluminiumschaums? Hipke lacht. »Dazu braucht man ein paar Tricks, die ich nicht verraten kann, und relativ hohen Druck, um das PCM hineinzupressen.« Es gibt nämlich zwischen den Poren klitzekleine Öffnungen, sogenannte Kontaktstellen, über die das Material hineinkommt. Zumindest beim Aluschaum vom Fraunhofer IWU: »Wir haben das auch bei Schäumen von Herstellern aus Korea oder China versucht; da war das nicht möglich.«

Das PCM nimmt jedenfalls übermäßige Wärme der Batterie auf, speichert diese und kann sie wieder abgeben, wenn zu niedrige Temperaturen drohen. Diese sogenannte passive Kühlung funktioniert – einmal eingebaut – lebenslang automatisch ohne weitere Steuerung. »Wir haben berechnet, dass sie in 95 Prozent aller Weltregionen ausreicht, um die Batterietemperatur zu managen«, erklärt Hipke. In extrem heißen Regionen könne man in ihren Prototypen stattdessen oder zusätzlich eine aktive Kühlstruktur einsetzen. Sie funktioniert mit einem Kältemittel, das durch kleine Kühlrohre gepumpt wird – ähnlich einem Kühlschrank.

Sprung in die Serienherstellung

Auf der Battery Show in den USA präsentierten die Chemnitzer Forscher ihren Prototypen mit einer Sandwich-Struktur, die je nach Bedarf bestückt werden kann: ein reines Aluschaum-Gehäuse ohne Temperatur-Management, mit PCM, mit aktivem Kühlmittel oder mit beiden Varianten. »Die Automobilhersteller und -zulieferer waren sehr interessiert«, berichtet Hipke. »Wir werden jetzt auch hier in Europa weiter auf Akquise gehen.« Ziel ist der Sprung in die Serienfertigung oder zunächst ein Langzeittest in einem Fahrzeug, um die passive Temperaturregelung im Echtbetrieb zu beweisen.

Aber die Einsatzmöglichkeiten des Fraunhofer-Aluschaums sind mit Batteriegehäusen bei Weitem nicht ausgeschöpft. Überall, wo ein extrem stabiles und leichtes Material benötigt wird, könnte er einen Siegeszug antreten: »Die Bahn ist zum Beispiel bereits ein guter Kunde von uns. Auch im Schiffsbau spart Aluschaum extrem Gewicht«, so der Wissenschaftler. »Wir haben bereits eine Serienfertigung in der Werkzeugmaschinenindustrie aufgrund der hervorragenden Dämpfung des Materials.« Seit einigen Jahren kommen auch zunehmend Anfragen aus der Rüstungsindustrie. So arbeiten die Fraunhofer IWU-Experten an Schutzräumen aus Aluschaum, die in privaten oder öffentlichen Gebäuden eingebaut werden.

Die Herstellung von Aluminiumschaum ist aktuell teurer als bei herkömmlichen Aluteilen. Deshalb hat das Fraunhofer IWU eine Recyclingmethode entwickelt, mit der gebrauchtes Aluminium geschreddert und zu Pulver verarbeitet wird. »Diese Technik führen wir gerade bei einem Produzenten ein«, berichtet Hipke. »Damit kommt der Schaum preislich an gewöhnliche Aluminiumteile heran.« Zwei Gründe nennt der Ingenieur für die Verwendung des Recycling-Pulvers: zum einen die Kostenersparnis von bis zu 30 Prozent, zum anderen die Nachhaltigkeit, die vielen Produzenten mittlerweile wichtig ist. »Wir müssen da viel mehr tun«, mahnt Hipke. »Ich bin absolut überzeugt davon, dass wir in den Nachhaltigkeits-Technologien eine riesige Zukunftschance haben. Denn damit können wir uns von chinesischen Herstellern abheben.« Wie Schaumschläger-Weisheiten klingt das nicht. Schon eher wie eine weitere Möglichkeit, durch eine Portion Luft das Leben besser zu machen. ■

Foto: Fraunhofer IWU



Foto & Fraunhofer

Spinnefreund?

Nur drei Zentimeter ist sie groß, lauert im hohen Gras des Saarlands, in Brandenburg, in Hessen. Berührt jemand ihr Nest, das zwischen den hüfthohen Halmen verborgen ist, beißt die Spinne zu. Die Schmerzen sind so stark, dass die meisten Menschen einen Arzt aufsuchen – und bis zu einer Woche an den Symptomen leiden können.

Der Ammen-Dornfinger gilt als giftigste Spinne Deutschlands. Doch möglicherweise kann sein Gift nicht nur Kreislaufprobleme, Fieber und Schocks verursachen, sondern auch eine heilende Wirkung haben. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME und der Justus-Liebig-Universität Gießen haben das zuvor unbekannte Gift des Ammen-Dornfingers entschlüsselt – und sehen Potenzial für einen medizinischen Wirkstoff: »Das hochpotente Gift des Ammen-Dornfingers greift, anders als bereits bekannte Spinnentoxine, nicht das Nervensystem an, sondern die Zellmembran«, erklärt Tim Lüddecke, Projektleiter und Forscher am Fraunhofer IME in Gießen. Für ihn ist das ein Grund zur Freude.

Der Biochemiker glaubt, dass sich das Gift in abgewandelter Form möglicherweise gegen Krebszellen einsetzen lässt – und damit für die Tumortherapie eine Rolle spielen kann. Die Entschlüsselung der Toxine ist abgeschlossen, eine Folgestudie geplant. Tim Lüddecke ist begeistert: »Der Ammen-Dornfinger beweist, dass wir gar nicht an den Amazonas reisen müssen, um neue Biomoleküle zu entdecken – wir haben sie sozusagen in unserem eigenen Hinterhof. Das finde ich absolut faszinierend!«



Auf der Pirsch: Mit kräftigen Kieferklauen fängt der Ammen-Dornfinger seine Beute und injiziert sein Gift.

Foto: Andia/Alamy/mauritius images



CHILE

Kosmische Verstärkerchips

Um besser zu verstehen, wie Sterne, Planeten, Galaxien und letztlich auch das Leben selbst entstehen, ergänzen 145 rauscharme Hochleistungsverstärker des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF und des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie das internationale Radioteleskop-Observatorium ALMA in den nordchilenischen Anden. Als Schlüsselkomponenten der ALMA-Empfänger verstärken sie extrem schwache Signale im Millimeter- und Submillimeterwellenbereich bereits im ersten Verarbeitungsschritt um mehr als das 300-Fache. Dies ermöglicht hochpräzise Messungen von Gas- und Staubwolken, planetaren Scheiben sowie komplexen organischen Molekülen in weit entfernten Regionen des Universums mit bisher unerreichter Genauigkeit. Die außergewöhnlich niedrige Rauschzahl der Verstärkerchips beruht auf monolithisch integrierten Mikrowellenschaltungen mit metamorphen Hochfrequenztransistoren aus dem Halbleitermaterial Indium-Gallium-Arsenid.



Im Zentrum von ALMA befinden sich 50 Antennen mit je 12 Metern Durchmesser, die zusammen wie ein einziges Teleskop arbeiten.

Fraunhofer international



Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft





Kartoffelkäfer sind gefräßig – und gegen viele chemische Pflanzenschutzmittel resistent.

USA

Pflanzenschutz ohne Gift

Den zentralen Wirkmechanismus eines neuartigen RNA-Sprays zur gezielten Bekämpfung des Kartoffelkäfers, einer der bedeutendsten Schädlinge im Kartoffelanbau, untersuchten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, der Justus-Liebig-Universität Gießen und der gemeinnützigen US-amerikanischen Gesellschaft GreenLight Biosciences.

Die Studie beschreibt erstmals, dass das RNA-basierte Pflanzenschutzmittel Ledprona in Kartoffelkäferlarven eine funktionelle Störung des Proteasoms, des zellulären Recyclingsystems, verursacht. Die Proteasomen-Fehlfunktion ist der Grund für das Absterben der Larven. Unabhängige Feldversuche haben gezeigt, dass der RNA-Wirkstoff hochspezifisch auf den Kartoffelkäfer wirkt, biologisch abbaubar ist und keine giftigen Rückstände hinterlässt. Am Fraunhofer IME werden aktuell außerdem RNA-Sprays gegen Blattläuse und die Schilf-Glasflügelzikade entwickelt, einen neu auftretenden Schädling im Zuckerrübenanbau.

EU

Mit KI schneller diagnostizieren

Husten, Müdigkeit, Atemnot – hinter den Symptomen können sehr unterschiedliche Lungenkrankheiten stecken. Im EU-Projekt AI4Lungs entsteht ein KI-basiertes System, das Mediziner und Medizinerinnen dabei unterstützt, möglichst frühzeitig die richtige Diagnose zu stellen. Das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITMW entwickelt dafür die Backend-Komponente: Daten von Patientinnen und Patienten werden mithilfe von Leitlinien- und datenbasierten Modellen analysiert und medizinische Handlungsempfehlungen samt Erklärungen geliefert. Ziel ist ein Clinical Decision Support System (CDSS), das Ärzte und Ärztinnen entlastet und frühzeitig optimale Behandlungspfade aufzeigt. Die finale Entscheidung bleibt jedoch stets beim medizinischen Personal.



Atemgeräusche geben wichtige diagnostische Hinweise.

EU

Steigendes Waldbrandrisiko strategisch bekämpfen



Im Rekordjahr 2025 gab es in der EU so viele Waldbrände wie noch nie.

Extreme Waldbrände nehmen zu – sie sind stärker, unvorhersehbarer und verursachen beispiellose Schäden. Nun liegt Europas erste integrierte Strategie für das Waldbrand-Risikomanagement (IWRM) vor. Erarbeitet wurde sie unter anderem im EU-Projekt »Fire-logue«, das das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE (früher Fraunhofer INT) koordiniert hat. Die Strategie beinhaltet einen praxisorientierten Fahrplan, der verschiedene Maßnahmen, wie die Schaffung feuertoleranter Landschaftsmosaike oder Anreize für »fire-smarte« Bioökonomien, umfasst. Die Forschenden wollen bestehendes Wissen und jüngste Innovation im Bereich Waldbrandbekämpfung nutzen, um die Wirksamkeit europaweit zu stärken. Die Strategie enthält darüber hinaus konkrete politische Vorschläge, darunter die Einrichtung eines ressortübergreifenden EU-Koordinierungsgremiums und die Erstellung einer gemeinsamen Waldbrandrichtlinie, die das Risiko deutlich verringern sollen.

IRLAND/ITALIEN

Nachhaltig anbauen

Umweltverträglich abbaubare Bodensensoren, die präzise landwirtschaftliche Daten für bessere Ernten liefern, entwickeln Forschende des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS gemeinsam mit der Universität Udine und dem University College Dublin im Projekt FarmScan. Die Sensoren erfassen kontinuierlich wichtige Bodenparameter wie Feuchtigkeit und Nährstoffgehalt und zersetzen sich am Ende ihrer Lebensdauer vollständig in ungefährliche Materialien. Mittels passiver RFID-Technologie können die Daten großflächig aus der Ferne erfasst und in eine KI-gesteuerte Plattform integriert werden, die Landwirtinnen und Landwirten in Echtzeit konkrete Entscheidungshilfen für Bewässerung und Düngung liefert. Getestet werden die Sensoren unter realen Bedingungen auf Versuchsfarmen, um ihre Praxistauglichkeit und ökologische Wirksamkeit zu prüfen. Ziel ist, die Lücke zwischen zuverlässiger Datenerfassung und ökologischer Nachhaltigkeit zu schließen und zu klimaschonenden, resilienten Anbausystemen beizutragen.



Passgenau düngen und bewässern: Eine innovative Sensorik macht's möglich.

Fotos: ESO/B. Tafreshi twanight.org, Tim Ur, Steve Allen Photo, Toa55, skynesher all istockphoto



Der Weg in die Zukunft:
Im Abwasser stecken diverse Rohstoffe für die Industrie.

Trübe Brühe, saubere Lösung

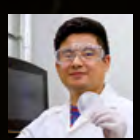
Fraunhofer-Forschende arbeiten daran, aus kommunalem Abwasser umweltfreundliches Bioplastik zu gewinnen. Ein robustes Bakterium namens Cupriavidus necator hilft den Wissenschaftlern.

Von Mehmet Toprak

Wenn Dr. Pravesh Tamang über Forschung spricht, hat er immer wieder ein Lächeln im Gesicht: »Im Labor arbeiten, knifflige Probleme angehen, Lösungen finden – das macht mir einfach Freude.« Das gilt besonders, wenn es um ein Thema geht, bei dem es noch viel zu erkunden gibt: Abwasser.

Tamang ist Experte für Bioprozess-Engineering am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Gemeinsam mit seinem Team und Partnern arbeitet er im Projekt KoalAplan. Hinter dem Akronym verbirgt sich, worum es in diesem Projekt geht: kommunales Abwasser als Quelle für Ammoniumstickstoff, Wasserstoff und Bioplastik. Den Fraunhofer-Forschenden fällt die Aufgabe zu, das Bioplastik aus dem Abwasser zu gewinnen. Genauer gesagt, Polyhydroxyalkanoate (PHA). PHA dient als Rohmaterial für bioabbaubare Kunststoffe. Und die sind zunehmend gefragt für Verpackungsmaterial und in Textilbeschichtungen, aber auch als Hilfsmittel in der Pharmazie oder für medizinische Implantate.

»In Abwasser stecken so viele wertvolle Stoffe. Höchste Zeit, dass wir das anpacken.«



Dr. Pravesh Tamang, Fraunhofer IGB

Mikroorganismen im Hydrolysat

Nachdem die Feststoffe aus dem Abwasser herausgefiltert sind, können sie bei einem Projektpartner vorbehandelt werden. Die DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie KIT unterzieht sie einer sogenannten Dunkelfermentation. In dem Prozess entsteht Biogas üblicherweise durch die Vergärung organischer Stoffe mittels Bakterien. Anders bei KoalAplan: Hier wird dieser Vorgang vorzeitig gestoppt und optimiert, um ein saures Hydrolysat zu gewinnen.

Im Labor des Fraunhofer IGB versetzen es Tamang und sein Team mit einer Mineralsalzlösung. Das Grundprinzip besteht jetzt darin, dem Hydrolysat Mikroorganismen zuzugeben, die darin wachsen und es in PHA verwandeln. Allerdings wirken die im Hydrolysat enthaltenen organischen Säuren wie Essig-, Butter- oder Propionsäure toxisch auf die Bakterienstämme. Mit einem sehr zufriedenen Lächeln erklärt Fraunhofer-Forscher Tamang die Lösung: »Wir haben schließlich mit Cupriavidus necator ein Bakterium identifiziert, das sich in diesem toxischen Umfeld behaupten kann und intrazellular PHA generiert.«

Die Säurekonzentration im Hydrolysat, das den Hauptausgangsstoff darstellt, ist jedoch stark verdünnt (ca. 7 g/l). Um ein Kilo PHA zu erzeugen, sind circa 300 Liter Hydrolysat nötig; dementsprechend groß müssen die Bioraffinerie-Tanks sein. Um das Volumen zu begrenzen, haben die Fraunhofer-Forschenden das sogenannte Perfusionsverfahren weiterentwickelt. Dabei handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess mit Zellrückhaltung. Dieser Prozess ermöglicht es, die PHA-haltigen Bakterien im Bioreaktor zu halten, während sie mit frischem Hydrolysat überflutet wurden. Das ursprünglich stark verdünnte Hydrolysat wird so in Form von Bakteriummasse und PHA im System konzentriert. Die unbrauchbare Brühe wird entsorgt. Tamang: »So steigt die Ausbeute und Menge von PHA, ohne dass das Reaktorvolumen steigt.«

Abwasser in der Simulation

Schon nehmen sich die Fraunhofer-Forschenden des nächsten Problems an, wieder – wie Pravesh Tamang sagen würde – »ein besonders kniffliges«. Anders als etwa Industrie-Abwasser setzt sich das Abwasser einer Kommune immer wieder anders zusammen. So entsteht auch eine andere PHA-Variante. Eine veränderte Zusammensetzung lässt sich durch Zugabe von Säuren kompensieren. Das Forschenden-Team arbeitet an KI-gestützten Verfahren, die vorhersagen, welche PHA-Variante mit einem gegebenen Abwasser entsteht.

Tamang formuliert das große Ziel: »Wir brauchen eine modular aufgebaute, agile und flexible Technologieplattform, um jedes beliebige Abwasser gezielt und ohne langwierige Vorversuche behandeln zu können. In Abwasser stecken so viele wertvolle Stoffe. Höchste Zeit, dass wir das anpacken.«

Dr. Pravesh Tamang lächelt, denn er wird bestimmt wieder viel Spaß haben. ■

Foto: Elise Ortiou Campion/plainpicture

Mobile Früherkennung von Agrarschädlingen



Vom Klimawandel begünstigt, gelangen neue Pflanzenschädlinge in deutsche Wein- und Obstbaugebiete. Um ihre Ausbreitung zu stoppen, muss man sie frühzeitig und zuverlässig aufspüren. Ein mobiles Labor macht's möglich: der PhenoTruck®.

Von Dr. Monika Offenberger

Chardonnay und Dornfelder, Kerner und Scheurebe: Scaphoideus titanus liebt sie alle. Die Amerikanische Rebzikade, ein Insekt aus der Familie der Pflanzensauger, wurde vor 80 Jahren aus ihrer Heimat nach Frankreich verschleppt. Seither breitet sie sich in Europa aus, besiedelt Italien und die Schweiz und wandert unaufhaltsam weiter. 2024 wurde sie erstmals in Südbaden gesichtet. Jetzt herrscht bei den Winzern Alarmstufe Rot.

Der Schädling kann als Vehikel für einzellige Erreger alias Phytoplasmen dienen, die beim Saugakt in die Pflanze gelangen und Flavescence dorée (FD), die gefürchtete Goldgelbe Vergilbung, auslösen. Wenn diese Krankheit durch welke Blätter und verkümmerte Triebe sichtbar wird, kommt für die befallenen Rebstöcke jede Hilfe zu spät. Um größeren Schaden zu verhindern, ist schnelles Handeln gefragt – der PhenoTruck® macht´s möglich. Der Name steht für eine mobile Analyseplattform, die autark im Feld betrieben werden kann. Sie ist das Produkt einer interdisziplinären Zusammenarbeit: Ein Team der RLP AgroScience GmbH brachte das phytopathologische und molekularbiologische Knowhow ein. Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF steuerte seine Expertisen für KI-optimiertes Monitoring und Spektralanalysen bei. Realisiert hat die mobile Plattform das Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT, das über langjährige Erfahrung mit maßgeschneiderten Spezialfahrzeugen verfügt.

Der PhenoTruck® ermöglicht, schon kleinste Infektionsherde frühzeitig zu erkennen, sie einzudämmen und eine epidemische Ausbreitung von FD zu verhindern. Gleiches gilt im Obstbau für weitere von Phytoplasmen verursachte Krankheiten wie Apfeltriebsucht, Birnenverfall oder Europäische Steinobstvergilbung. Derzeit geschieht dies durch geschulte Fachleute, die in verdächtigen Plantagen eine Bonitur vornehmen: Sie halten Ausschau nach den spezifischen Symptomen der jeweiligen Krankheiten und nehmen Proben von befallenen Blättern, die dann zur molekularbiologischen Untersuchung ins Labor geschickt werden. Dieser personalaufwendige und langwierige Prozess lässt sich mithilfe des PhenoTruck® erheblich beschleunigen.

»Unsere langjährige Erfahrung in der Entwicklung mobiler Labore für verschiedenste Einsatzbereiche hilft uns, die entsprechenden Konzepte für Proben, Handling, Geräteauswahl und optimale Platz- und Energieanpassung in einem dynamischen Prozess mit den Projektpartnern zu entwickeln«, erklärt Fraunhofer IBMT-Projektleiterin Sylvia Wagner. Der Bau des Fahrzeugs erfolgt dann in enger Kooperation mit industriellen Sonderfahrzeugherstellern. »Das Besondere am PhenoTruck® ist seine Geländegängigkeit, denn man will damit ja in den Weinberg kommen«, erläutert Markus Michel, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IBMT. »Er enthält zwei valide Laborräume, je einen für die molekularbiologischen und physikalischen Arbeiten, die durch eine Schleuse sauber abgegrenzt sind. Beide sind zuverlässig gleichbleibend konditioniert, auch wenn es draußen 35 Grad und eine hohe Luftfeuchte hat.« Das Ziel ist die Identifizierung von Schadorganismen di-



Fotos: MediaExpanding/istockphoto, blickwinkel/Alamy/mauritius images

rekt im betroffenen Anbaugebiet. »Wir können die Experten vom Pflanzenschutzdienst nicht ersetzen, aber bei ihrer Arbeit unterstützen«, sagt Bonito Thielert vom Fraunhofer IFF. Seine Arbeitsgruppe hat eine Bonitur-App entwickelt, die das Erfassen der Pflanzen- und Standortmerkmale von verdächtigen Rebstöcken erleichtert: »Die Nutzer können individuell einstellen, welche Daten sie eingeben möchten, und diese mit GPS-Daten verknüpfen. So lassen sich symptomatische Pflanzen für die spätere Probennahme leicht wiederfinden.«

Flächendeckende Informationen zur Anbaufläche liefern mit Multispektralsensoren bestückte Drohnen, die das Gelände automatisiert überfliegen und aus etwa 35 Meter Höhe fotografieren. Die Daten werden zentimetergenau georeferenziert und die einzelnen Drohnenbilder zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Die Drohnenkamera erfasst auch Wellenlängen im Infrarotbereich und liefert damit erste Hinweise auf mögliche Erkrankungen von Rebstöcken oder Obstbäumen. Denn gestresste oder von Schadorganismen infizierte Pflanzen leiden unter einem Mangel an Chlorophyll; statt des Blattgrüns überwiegen daher andere Farben.

Via Fernerkennung lassen sich auffällig gefärbte Rebstöcke und Obstbäume exakt lokalisieren – aber nicht die Ursache der Verfärbungen klären. Liegt es an der Trockenheit, am Nährstoffmangel oder an anderen Stressfaktoren? Oder stecken Phytoplasmen dahinter – und falls ja, welche? Denn neben FD gibt es in Deutschland die Schwarzholzkrankheit BN und weitere Rebkrankheiten, die sich ebenfalls durch vergilbte Blätter äußern, aber als harmlos gelten. Antworten liefert der nächste Schritt. Um ein sauberes Arbeiten im Laborbereich zu gewährleisten, werden verdächtige Blattproben zunächst außerhalb in einem zum PhenoTruck® gehörenden wetterfesten Zelt gesammelt und vorbereitet. Dann kommen sie ins Labor, wo hyperspektrale Kameras ihr Strahlungsprofil im kurzwelligen und Infrarotbereich aufnehmen. Die so gewonnenen Spektren der verdächtigen Blätter werden mit Referenzwerten verglichen, die aus visuellen Boniturен und molekularbiologischen Daten stammen. Die Auswertung erfolgt durch KI-Modelle, die mit Methoden des Maschinellen Lernens darauf trainiert wurden, eine Phytoplasmose zu erkennen – und gefürchtete Schädlinge von harmloseren Erregern zu unterscheiden.

»Das Besondere am PhenoTruck® ist seine Geländegängigkeit, denn man will damit ja in den Weinberg kommen.«

Markus Michel, Fraunhofer IBMT



Die Amerikanische Rebzikade kann die Rodung ganzer Weinberge notwendig machen, denn sie überträgt einen gefährlichen Erreger.

Fotos: ©

»Unsere Modelle können mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 bis 99 Prozent infiziertes von gesundem Gewebe unterscheiden«, berichtet Bonito Thielert, der dazu umfangreiche Feldversuche betreut hat. »Die Abgrenzung der Rebkrankheiten FD und BN gelingt zu 80 Prozent. Mit jedem Schritt schränken wir die Anzahl der Proben ein, die wir molekularbiologisch analysieren müssen.« Auch diese letzte, entscheidende Analyse geschieht im mobilen Labor – und liefert schon nach knapp einer Stunde Ergebnisse. Den zugrunde liegenden Schnelltest haben Wolfgang Jarausch und Kollegen von der RLP AgroScience GmbH optimiert. Er basiert auf einer neuen Form der DNA-Amplifizierung, die ohne zyklisches Erwärmen und Abkühlen der Biomoleküle auskommt und deshalb schneller abläuft als herkömmliche Verfahren. Damit lassen sich artspezifische Gensequenzen identifizieren und eindeutig bestimmten Phytoplasmose-Erregern zuordnen. Die erste gute Nachricht: Im Praxistest in Rheinland-Pfalz konnte der PhenoTruck® bereits überzeugen. Die zweite gute Nachricht: Zumindest hier zeigt sich die Goldgelbe Vergilbung noch nicht. ■



Mehr Unabhängigkeit: Das Mega-Projekt APECS soll die europäische Resilienz im Halbleiterbereich erhöhen.

Chips für Europa

Unter Fraunhofer-Koordination entsteht derzeit – erstmals in Europa – eine Pilotlinie für die gesamte Entwicklungskette modernster Chipproduktion. Dabei geht es um mehr als elektronische Bauteile: Es geht um Fragen von Versorgungssicherheit, Innovationsfähigkeit und wirtschaftlicher Stabilität in Europa.

Von Mandy Bartel

Statt eines einzigen Chips arbeiten mehrere kleine spezialisierte Bausteine, sogenannte Chiplets, modular zusammen.

Es ist das größte Projekt, das Fraunhofer je koordiniert hat: 730 Millionen Euro über eine Laufzeit von mehr als viereinhalb Jahren, zehn europäische Partner aus acht Ländern. Groß sind auch die Erwartungen: »Ziel ist es, die Mikroelektronik in Europa auf ein neues Level zu heben und damit die technologische Resilienz zu stärken sowie Industrieunternehmen, KMU und Start-ups den Zugang zu Mikrochips dauerhaft zu sichern«, sagt Dirk Schumann. Als Leiter des Mammutprojekts APECS jongliert er täglich mit Zahlen, Zielen und Zeitplänen. APECS steht für »Advanced Packaging and Heterogeneous Integration for Electronic Components and Systems«. In der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) verantwortet Schumann den Aufbau dieser europaweit einzigartigen Pilotlinie. Sie soll, vom Design neuer Chiplet-Komponenten über Prototypen und Integration bis hin zu skalierbaren Fertigungsverfahren, die gesamte Entwicklungskette abdecken.

Mehr Wettbewerbsfähigkeit durch neue Technologien

Mikrochips begleiten uns nicht nur täglich – beim Zähneputzen, Autofahren, Telefonieren –, son-

dern spielen die entscheidende Rolle in Schlüsselbereichen wie KI, Quantentechnologien, Raumfahrt- oder Medizintechnik. Die meisten Chips werden bislang in Taiwan, China und Südkorea produziert. Seit Jahren warnen Fachleute und Verbände vor gefährlichen Abhängigkeiten und drohendem Verlust der Wettbewerbsfähigkeit Europas. Gleichzeitig sind neue technologische Ansätze nötig. Denn elektronische Systeme werden komplexer, energieeffizienter und spezialisierter. Klassische Konzepte stoßen da an ihre Grenzen. Lange Zeit lag der Fokus der Mikroelektronik auf der Integration möglichst vieler Funktionen auf einem Chip. Doch physikalische und wirtschaftliche Hürden machen dies zunehmend teuer und unflexibel. Bei APECS setzen die Partner auf zukunftsfähige Alternativen – mit Fokus auf Heterointegration und Chiplet-Technologien.

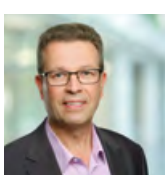
Heterointegration bedeutet, dass unterschiedliche Chips und Technologien in einem System kombiniert werden. Statt eines einzigen Chips arbeiten also mehrere kleine spezialisierte Bausteine, sogenannte Chiplets, modular zusammen – etwa Speicher, Sensorik und Leistungselektronik. So lassen sich Systeme gezielter optimieren und flexibler auch neue Funktionalitäten erschließen. Zudem beschleunigt der Ansatz die bisher langwierigen Entwicklungsprozesse und senkt die Kosten – insbesondere für kleinere Stückzahlen und spezialisierte Anwendungen.

Nachhaltiger Wert für die Wirtschaft

In der APECS-Pilotlinie sollen robuste, vertrauenswürdige und skalierbare Chipsysteme für industrielle Anwendungen entwickelt und erprobt werden. Alle Fäden dafür laufen bei Dirk Schumann zusammen. Als Physiker bringt er das technische Verständnis und eine analytische Arbeitsweise mit. 30 Jahre Industrieerfahrung bei Unternehmen wie Intel in Irland, BMW, ASML und Infineon schärften seine Kompetenz, mit Vielschichtigkeit umzugehen, Prozesse zu strukturieren und auf verschiedenen Ebenen zu kommunizieren. »Meine Aufgabe ist es, eine Struktur zu schaffen, in der über hundert Einzelleistungen auf ein Gesamtziel einzahlen, und so die Komplexität dieses Vorhabens in den Griff zu bekommen«, sagt der Projektleiter. So werden im ersten Schritt modernste Anlagen für Halbleitertechnologie beschafft und nach und nach an verschiedenen FMD-Instituten sowie bei den europäischen Partnerorganisationen in Betrieb genommen. Zugleich entwickeln die Forschenden Prozesse und Technologien für Advanced Packaging – also das Verpacken der Chiplets und anderer elektronischer Komponenten in anwendungsbereite Systeme – neu oder weiter. Ein Schwerpunkt liegt auf Nachhaltigkeit: Ressourceneffiziente Designs, kreislauforientierte Fertigung und langlebige elektronische Systeme sind mit modularen Architekturen besonders gut umzusetzen.

Ihr Wissen und ihre Erkenntnisse werden die Partner in Form von Dienstleistungen und Schulungen am Ende auch an andere europäische Unternehmen und Forschungseinrichtungen weitergeben. »APECS fungiert quasi als One Stop Shop, der Know-how, Infrastruktur, Technologien und Prozesse bündelt und den Übergang von der Forschung in die Anwendung erleichtert«, verdeutlicht Schumann. Damit ist es, trotz seiner technischen Ausrichtung, nicht nur ein Forschungsprojekt, sondern auch ein industrie- und strukturpolitisches Vorhaben mit strategischer Tragweite. Es ist Teil des EU Chips Acts, mit dem die Europäische Union gezielt in Halbleitertechnologien investiert, um Europas technologische Resilienz und Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. »APECS macht Arbeit, aber es schafft auch Arbeit«, bringt es Dirk Schumann auf den Punkt. »Es werden viele Menschen davon bezahlt. Und wenn wir erfolgreich sind, schaffen wir viele weitere Arbeitsplätze und eröffnen große Chancen für die Industrie.« ■

> »Meine Aufgabe ist es, eine Struktur zu schaffen, in der über hundert Einzelleistungen auf ein Gesamtziel einzahlen, und so die Komplexität dieses Vorhabens in den Griff zu bekommen.«
>
> Dirk Schumann, FMD



Europäische Zusammenarbeit

APECS ist als europaweites Kooperationsprojekt angelegt. Darin bündeln in Deutschland zwölf Fraunhofer- und zwei Leibniz-Institute ihre Kompetenzen. International umfasst das Konsortium Partner aus Österreich, Belgien, Finnland, Frankreich, Griechenland, Spanien und Portugal, darunter renommierte Einrichtungen wie imec, CEA Leti oder VTT. Vorhandene Stärken werden im Projekt erfolgreich vernetzt, Doppelstrukturen vermieden. APECS wird durch Chips Joint Undertaking und durch nationale Förderungen im Rahmen der »Chips for Europe«-Initiative kofinanziert.

Mehr zum Projekt:
https://www.apecs.eu

Fotos: Christoph Burgstedt/AdobeStock, FMD



Dr. Christopher Spiess entwickelt einen neuen Ansatz zur Synchronisation in Quantenkommunikationsnetzen.

1. Preis: Dr. Christopher Spiess

Teilchen mit Taktgefühl

Viele vernetzte Technologien funktionieren nur in perfekter zeitlicher Synchronisation – auch die Datenübertragung via Quantenkommunikation. Dr. Christopher Spiess hat ein Synchronisationsverfahren entwickelt, das einzelne Photonen als Zeitsignal nutzt – robust, ressourcenschonend und auf die Pikosekunde genau.

Von Mandy Bartel

Ob in 5G- und 6G-Netzen, der industriellen Automatisierung oder intelligenten Stromnetzen: Überall müssen Geräte synchron sein, also exakt aufeinander abgestimmt. Zeit ist hier ein Taktgeber, der bestimmt, ob Informationen zuverlässig ankommen und Systeme sicher arbeiten. In der Quantenkommunikation – dem hochsicheren Pendant zur klassischen Datenübertragung für kritische Infrastrukturen – ist dieser genaue Takt noch entscheidender. Hierbei werden Informationen nahezu abhörsicher über verschränkte Photonen zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht – als Freistrahl oder via Glasfaserstrecke. »Der Zustand der Teilchen und ihre Ankunftszeit an der Empfangsstation sind die wichtigsten Parameter«, erklärt Dr. Christopher Spiess vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena. »Die synchrone Vermessung der Ankunftszeit ist bei Freistrahlverbindungen entscheidend, um als zeitlicher Filter das Signal vom Photonenrauschen im Hintergrund, etwa durch Sonnenlicht, zu unterscheiden. Darüber hinaus ermöglicht eine genauere Synchronisation auch eine engere Taktung der Quantenbits, was die Übertragungsrate erhöht.«

Mit GPS oder Atomuhren erreicht man heute bereits eine Genauigkeit von Nanosekunden. Doch viele Protokolle funktionieren nur, wenn Uhren im Bereich von

Hugo-Geiger-Preis

Ehrenpreis für Nachwuchs-wissenschaftler

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

Pikosekunden übereinstimmen. Das entspricht einem Billionstel einer Sekunde oder der Zeit, in der Licht durch ein Staubkorn fliegt. Besonders bei Freistrahlverbindungen – etwa zwischen Flugzeug und Bodenstation oder zwischen Satelliten und Erde – können Turbulenzen, Erschütterungen und Temperaturschwankungen den Takt massiv stören und die Fehlerraten erhöhen. Für eine sichere, skalierbare Quantenkommunikation sind neue, robuste und kosteneffiziente Methoden nötig. Genau hier setzt die Arbeit von Christopher Spiess an. »Mein Ziel war es, ein Verfahren zu entwickeln, das ohne zusätzliche Synchronisationslaser oder ultrastabile, teure Atomuhren auskommt und sich nahtlos in bestehende Quantenkommunikationssysteme integrieren lässt«, sagt der Forscher. Dafür bringt er Quantenoptik, Informatik, Elektrotechnik und Ingenieurwissenschaften in seiner Forschung zusammen.

Synchronisation ohne zusätzliche Hardware

Spiess' Synchronisationsverfahren greift auf einzelne Photonen zurück – Lichtteilchen, die bei der Quantenkommunikation ohnehin als Informationseinheiten übertragen werden. Das zugrunde liegende Protokoll funktioniert ohne spezielle Signalmuster oder Umbauten am Sender. Die Synchronisation entsteht allein durch die intelligente Messung und Auswertung der Photonenankünfte – vergleichbar mit einem Orchester ohne Dirigent, das auch dann perfekt zusammenspielt, wenn alle Musiker nur einem leisen Metronom-Klicken folgen. Bei Spiess' Ansatz sind diese Klicks die einzelnen Photonen. Spezielle Algorithmen werten ihre Ankunftszeiten aus und berechnen in engen Feedbackschleifen Grad und Verlauf der Störungen. Wie stark beeinflussen Turbulenzen oder Vibrationen den Strahl? Wie verschiebt sich das Signal über die Zeit? Diese Berechnungen erlauben es, alle Einflüsse in Echtzeit auszugleichen. So entsteht ein stabiler, gemeinsamer Takt, der Freistrahlstrecken deutlich stabiler macht.

Transfer in die Praxis

Für den Praxistest musste der Wissenschaftler leiden. Um sein Verfahren unter realen Bedingungen zu testen, verbrachte Christopher Spiess Nächte in Kälte und Dunkelheit auf freiem Feld. Denn Freistrahlexperimente funktionieren am besten ohne ablenkende Sonnenstrahlung. Bis spät in die Nacht analysierte er mit kalten Fingern auf seinem Laptop Messergebnisse, passte Algorithmen an – und hielt sich mit Schokolade wach.

Mit Erfolg: In Tests über 1,7 km Freistrahlstrecke war die Synchronisation trotz atmosphärischer Turbulenzen stabil. Auch in einer 70 km langen Glasfaserstrecke zwischen Jena und Erfurt funktionierte die Integration in die bestehende Infrastruktur ohne Hardware-Änderungen.

Die Ergebnisse seiner Forschung fließen heute bereits in mehrere nationale und europäische Projekte ein, in denen Lösungen für sichere Kommunikation, verteiltes Quantencomputing und satellitengestützte Quantennetzwerke entwickelt werden. Auch das Fraunhofer-Spin-off Quantum Optics Jena nutzt Spiess' Konzept zur Synchronisation mit Quantenteilchen, um seine QKD-Systeme (Quantum Key Distribution) noch zuverlässiger zu machen. Doch das Verfahren eröffnet Anwendungsmöglichkeiten weit darüber hinaus – von der Telekommunikation über Luft- und Raumfahrt bis hin zur Präzisionsmesstechnik: Die Satellitenkommunikation könnte künftig mit deutlich kleineren Teleskopen auskommen, weil sie auch bei schwächeren Signalen funktioniert. Die Leistung von Präzisionsmesstechnik wie Interferometer und Quantenoptik lässt sich erheblich verbessern, da die Nutzung von Einzelphotonen starke Referenzsignale, die sonst zusätzliches Rauschen erzeugen, überflüssig macht. »Mit Blick auf die Zukunft ist Synchronisation nicht nur ein Hilfsmittel, sondern eine Schlüsseltechnologie«, ist Spiess überzeugt. »Denn sie ermöglicht, dass klassische Kommunikationsnetze und künftige Quanteninfrastrukturen nahtlos zusammenwachsen.« ■

Zum zweiten Preis ▶

Foto: Fraunhofer IOF

2. Preis: Dr. Christian Weber

Hören, was in der Luft liegt

Wenn die Konzentration von Kohlenstoffdioxid und Stickstoffdioxid kritisch wird, bemerken wir das oft zu spät. Dr. Christian Weber nutzt Photoakustik, um extrem kompakte, energiearme wie empfindliche Sensoren zu bauen, die die Gase früh erkennen – und einen Bruchteil bisheriger Geräte kosten.

Konzentrationsschwierigkeiten, Schwindel, Unwohlsein? Da könnte etwas in der Luft liegen. Sei es ein hoher CO_2-Gehalt in Innenräumen oder zu viel NO_2 in der Tiefgarage. Doch wie viel ist zu viel? Schon wenn Kohlenstoffdioxid vom atmosphärischen Mittelwert 0,04 auf bis zu 0,5 Volumenprozent ansteigt, fühlen wir uns nicht mehr wohl. Beim toxischen Stickstoffdioxid beträgt die von der Weltgesundheitsorganisation empfohlene Maximalkonzentration nur fünf parts per billion (ppb), also fünf NO_2-Moleküle unter einer Milliarde Luftmoleküle.

Eine verlässliche Kontrolle dieser Spurengase in der Umgebungsluft vermeidet Gesundheitsschäden. Doch flächendeckendes Monitoring scheitert oft an der Technik: »Viele Messsysteme sind groß und unhandlich, brauchen bis zu 100 Watt Leistung und kosten Zehntausende Euro«, sagt Dr. Christian Weber, der am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg forscht. »Einer der im Rahmen meiner Dis-



Dr. Christian Webers Arbeit zeichnet sich durch die Verbindung aus physikalischer Finesse und Ingenieurspragmatismus aus.

sertation entwickelten Sensoren hat das Volumen eines Taschentuchpäckchens, benötigt rund ein halbes Watt Energie und erreicht Nachweisgrenzen im einstelligen ppb-Bereich.« Damit macht Weber Gesundheitsschutz viel leichter und flächendeckender möglich.

Gaskonzentrationen hörbar machen

Die physikalische Idee hinter Webers Sensoren klingt simpel: Licht wird zu Ton. »Wird ein Gas mit Licht einer zu ihm passenden Wellenlänge durchstrahlt, so absorbiert es einen Teil des Lichtes. Die so aufgenommene Lichtenergie wird über mehrere Prozesse in Wärmeenergie umgewandelt«, erklärt Weber. »Das Gas dehnt sich aus und eine Schallwelle entsteht, die wir mit einem Mikrofon messen können. Über gepulstes, also schnell ein- und ausgeschaltetes Licht erreicht man ein periodisches Signal, was einem akustischen Ton gleichkommt. Je höher die Gaskonzentration, desto lauter dieses Signal.« Fachleuten ist das Phänomen des hörbaren Lichts als Photoakustischer Effekt geläufig – entdeckt bereits 1880 von Alexander Graham Bell. Dass dieses alte Messverfahren nun durch Christian Webers Arbeit eine Renaissance erfährt, liegt auch an der Verfügbarkeit neuer Lichtquellen wie Hochleistungs-Leuchtdioden (LED) und Halbleiterlasern sowie von sehr günstigen, für Smartphones entwickelten mikromechanischen Mikrofon-Chips.

Zwei Wege – zwei Innovationen

Der Forscher hat in seiner Doktorarbeit zwei Sensorarchitekturen parallel entwickelt – jeweils maßgeschneidert für das jeweilige Zielgas und die Anwendung. Ein CO_2-Sensor muss vor allem klein und energieeffizient sein. In Webers dafür ausgelegten Zweikammer-System sendet eine LED infrarotes Licht durch einen kurzen Messpfad in einen speziellen photoakustischen Detektor, der hermetisch mit Kohlenstoffdioxid gefüllt ist. Der Trick: Der Detektor erfasst genau jene schmalen Absorptionslinien, auf die CO_2 reagiert. »Dadurch sind wir vier- bis sechsmal empfindlicher als klassische Filterlösungen und können den Lichtweg auf acht Millimeter verkürzen«, so Weber. Das Ergebnis: Ein Sensormodul mit der Größe von $8 \times 7 \times 17$ mm³, das über Jahre kalibrierungsarm und energieeffizient läuft – ideal etwa für die Raumlüftung in Schulen und Büros.

Das toxische NO_2 hingegen muss schon in wesentlich geringerer Konzentration nachgewiesen werden. Das macht die Messung zur großen Herausforderung. Webers NO_2-Sensor mit resonanter Einkammer macht

> »Das Gas dehnt sich aus und eine Schallwelle entsteht, die wir mit einem Mikrofon messen können.«
>
> Dr. Christian Weber

die im violetten bis blauen Bereich absorbierten Lichtsignale durch starke LEDs und eine speziell geformte Zelle »hörbar«. Da der Ton jedoch bei den zu messenden extrem niedrigen Gaskonzentrationen sehr leise ist, muss er mithilfe eines akustischen Resonators verstärkt werden. Für Laien vergleicht der Forscher das mit einer Orgelpfeife, bei der selbst ein schwacher Luftstrom in einem Resonanzkörper einen durchdringenden Ton erzeugt. »Die Resonanz ändert sich mit Temperatur, Druck oder Feuchte«, sagt Weber. »Um Messfehler zu vermeiden, muss der Takt der Anregung jedoch exakt mit der Resonanzfrequenz der Struktur übereinstimmen.« Die Lösung des Fraunhofer-Forschers ist ebenso elegant wie praktisch: »Ich nutze eine zweite LED, deren Licht direkt auf die Wand der resonanten Zelle fokussiert. Durch die Absorption der Strahlung geht ein Teil der Wärme ebenfalls in das Gas über und eine Schallwelle entsteht, die die Zellresonanz anregt.« Diese Methode zeigte sich nicht nur komplett linear und frei von eigenen Resonanzen, sondern lässt sich auch einfach und günstig in die Sensorik integrieren – für weniger als einen Euro Zusatzkosten. Das Verfahren ist patentiert und bereits lizenziert.

Erfolgreicher Transfer

Zahlen untermauern die Wirkung von Webers Arbeit: Die Ergebnisse flossen bereits in mehr als zehn Industrieprojekte ein. Mit seiner Methode entstehen Systeme, die bisherige, hundertfach teurere Lösungen in spezifischen Anwendungen ersetzen – mit Stücklistenpreisen im niedrigen dreistelligen Eurobereich. Die Bandbreite reicht von der Überwachung von Treibhausgasen über die transkutane CO_2-Messung durch die Haut in der Medizintechnik bis zur Methanleck-Suche aus dem fahrenden Auto heraus. Dazu kommen Anwendungen in Tunneln und Tiefgaragen, wo die höhere Sensitivität früher warnt, sowie Projekte zur Kältemittelleckage und zur Brennstoffzellen-Diagnostik. Perspektivisch sieht der Fraunhofer-Forscher Potenzial bei Gasen der Energiewende – etwa Ammoniak – und in vernetzten, batteriebetriebenen Sensorclustern für Städte und Industrieanlagen. ■

Zum dritten Preis ▶

Foto: Fraunhofer IPM

3. Preis: Dr. Anne-Sophie Munser

Schneller im Kampf gegen Bakterien

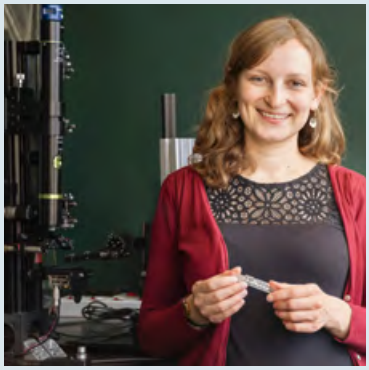


Die Messmethode ist altbewährt, doch Dr. Anne-Sophie Munser hat sie grundlegend neu interpretiert. Mit der Streulichtanalyse lassen sich schädliche Mikroorganismen nun früher nachweisen als bisher. Das hilft, Krankheiten und Antibiotikaresistenzen rascher zu erkennen – aber auch Keime in Lebensmitteln und Wasser.

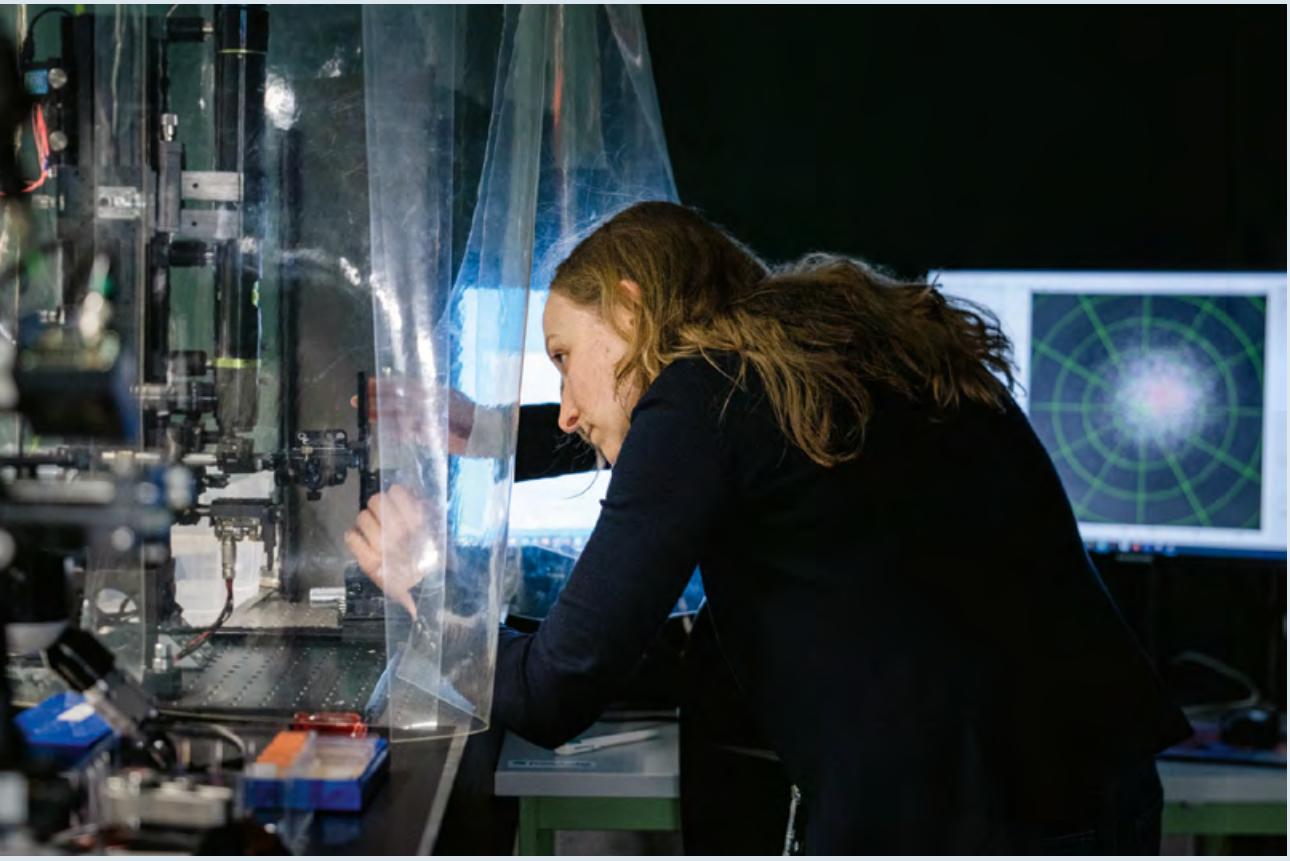
Dr. Anne-Sophie Munser ist Ingenieurin für Optotechnologien, die Photonik ihr Steckenpferd. Für ihre Dissertation wurde sie zusätzlich zur Biologin: Sie übertrug ein Verfahren, mit dem normalerweise Nanostrukturen optischer Systeme geprüft und gemessen werden, auf die Zellbiologie. »Um kleinste Defekte oder Partikel auf den superglatten Oberflächen von Spiegeln oder Linsen zu erkennen, braucht es sensitive Messtechnik, wie die winkelaufgelöste Streulichtanalyse«, erklärt die Forscherin vom Fraunhofer-Institut für Optik und Feinmechanik IOF in Jena. Bei einem Austausch mit dem benachbarten Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie Hans-Knöll-Institut HKI in Jena entstand die Idee, diese Messmethode an Bakterien auszuprobieren.

»Die Kombination aus Schnelligkeit, Berührungslosigkeit und extrem hoher Sensitivität war für mich die Motivation, Streulicht für biomedizinische Fragestellungen zu nutzen und statt Nanokratzern oder Staubpartikeln Bakterien und Pilzsporen in den Fokus zu nehmen.« Zusammen mit dem HKI wollte sie so ein relevantes Problem der medizinischen Praxis lösen: Um Krankheiten zeitnah und sicher zu diagnostizieren, müssen schädliche Mikroorganismen schnell identifiziert werden. Das gelingt bislang nur, wenn man Bakterien erst über viele Stunden, manchmal Tage hinweg aufwendig kultiviert – für medizinische Notfälle oft zu lange. Die Messung mit Streulicht ist genauer und schneller: »Die Methode ist so empfindlich, dass wir Mikroben im Mikrometerbereich in Sekundenbruchteilen und ohne Farbstoffe detailliert erfassen können«, so Munser. »Herkömmliche Verfahren benötigen Tausende Zellen.« Somit lassen sich schon wenige Einzelzellen binnen kürzester Zeit analysieren – und entsprechend eher bekämpfen.

> »Die Methode ist so empfindlich, dass wir Mikroben im Mikrometerbereich in Sekundenbruchteilen und ohne Farbstoffe detailliert erfassen können.«
>
> Dr. Anne-Sophie Munser



Die winkelaufgelöste Streulichtmessung funktioniert so: Ein Laserstrahl trifft auf die Zellen und wird – je nach deren morphologischen Eigenschaften – an ihren Mikro- und Nanostrukturen reflektiert sowie in entsprechende Richtungen beziehungsweise Winkel gestreut. Das entstehende Muster verrät, ob es sich um einzelne Bakterien, Zellaggregate oder andere Mikroorganismen handelt und gibt Informationen zu ihren Charakteristika. »Für Biologen sind diese Muster zunächst neu«, beschreibt die Forscherin eine Herausforderung ihrer Arbeit. »Für gewöhnlich sehen sie Abbilder der



Mit ihrer Arbeit leistet Dr. Anne-Sophie Munser am Fraunhofer IOF einen wesentlichen Beitrag zur Bekämpfung von antibiotikaresistenten Erregern.

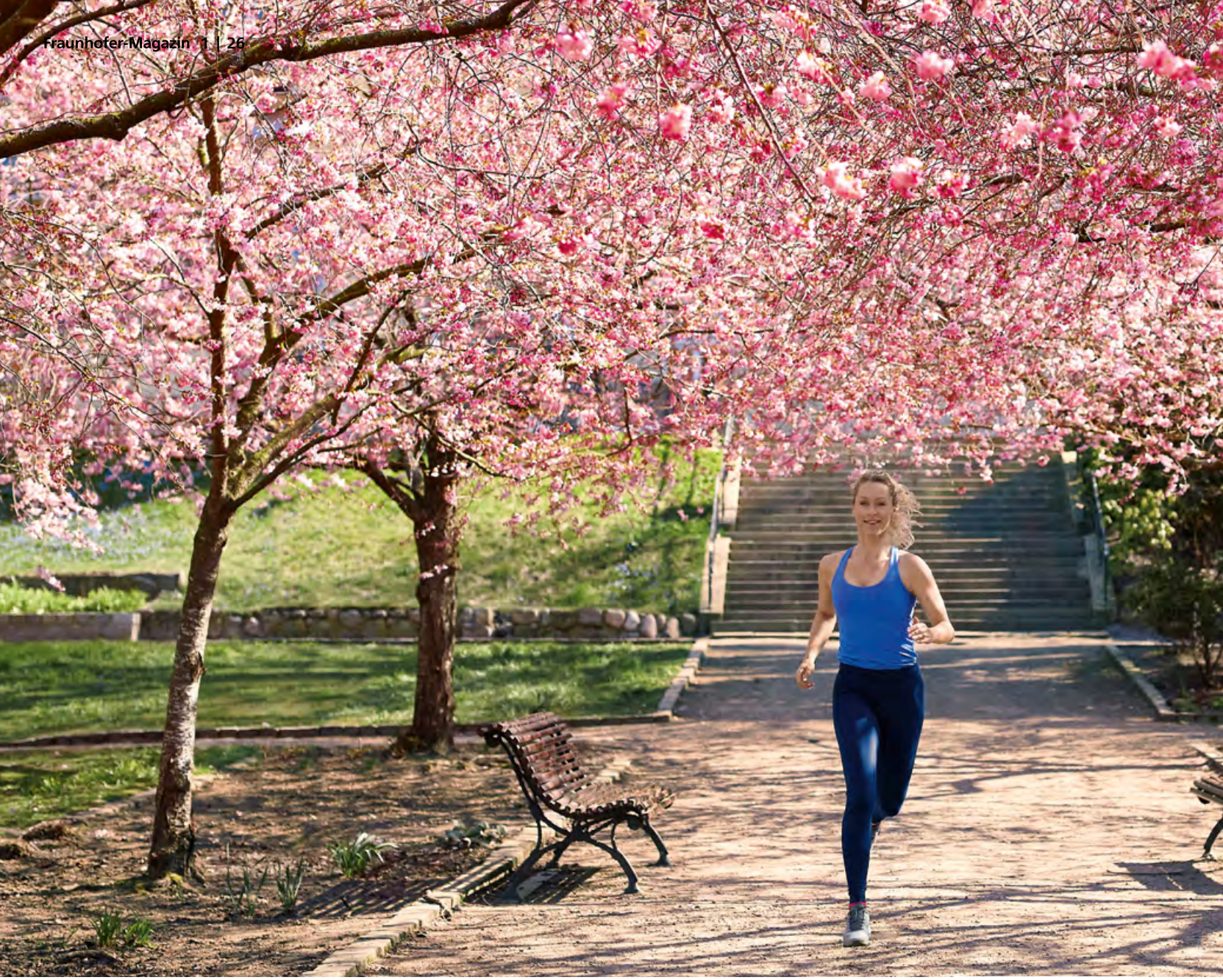
Foto: Fraunhofer IOF

Zellen unter ihren Mikroskopen. Deshalb habe ich in meiner Arbeit eigene Datenauswertungsmethoden entwickelt, die die Interpretation der Ergebnisse erleichtert.« Derzeit arbeitet Munser mit ihrem Team am Fraunhofer IOF daran, die Auswertung mithilfe von KI weiter zu vereinfachen.

Antibiotika-Resistenzen aufspüren

In ihrer Doktorarbeit konnte Dr. Anne-Sophie Munser konkret aufzeigen, dass sich mit der Streulichttechnologie die Wirksamkeit von Antibiotika gegen verschiedene Bakterien bereits nach wenigen Stunden nachweisen lässt. Ein klarer Vorteil für eine schnellere, zielführende Behandlung. Munser freut sich: »Statt auf Zellkolonien mit Tausenden Zellen zu warten, können wir in einer mikrofluidischen Probenführung schon bei den ersten zwei bis drei Zellteilungen sehen, ob ein Antibiotikum gegen einen spezifischen Erreger wirkt oder dieser bereits Resistenzen entwickelt hat.« Damit ist das Gerät, das noch die Größe zweier Schuhkartons hat, sensitiver als bisherige in der Biologie genutzte Methoden. »Und wir arbeiten gerade daran, das System noch kompakter, transportabel und sensitiver zu machen, um auch einzelne Zellen sicher auswerten zu können.« Perspektivisch könnte das System sogar als »Lab-on-a-Chip« miniaturisiert werden. Doch die Innovation liegt nicht nur in der Geschwindigkeit, sondern auch in der Möglichkeit, Tausende Proben in kürzester Zeit zu untersuchen. Da eine Messung nur den Bruchteil einer Sekunde dauert, lässt sich die Methode in kompakte Hochdurchsatzsysteme in Laboren und Kliniken integrieren.

Dank einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit von Fachleuten aus Photonik, Mikrobiologie und Infektionsbiologie wird die Streulichttechnik heute bereits in einem Forschungsinstitut in der Wirkstoffforschung und Infektionsdiagnostik eingesetzt. Doch ihr Potenzial geht weit darüber hinaus: »Mit Streulichtsensoren lassen sich künftig niedrigschwellig die Trinkwasserqualität oder die Lebensmittelsicherheit überprüfen«, so Munser. »Und auch für die Stammzelldifferenzierung und Biofilme, etwa bei Implantaten oder im Dentalbereich, könnte die Methode interessant sein.« ■

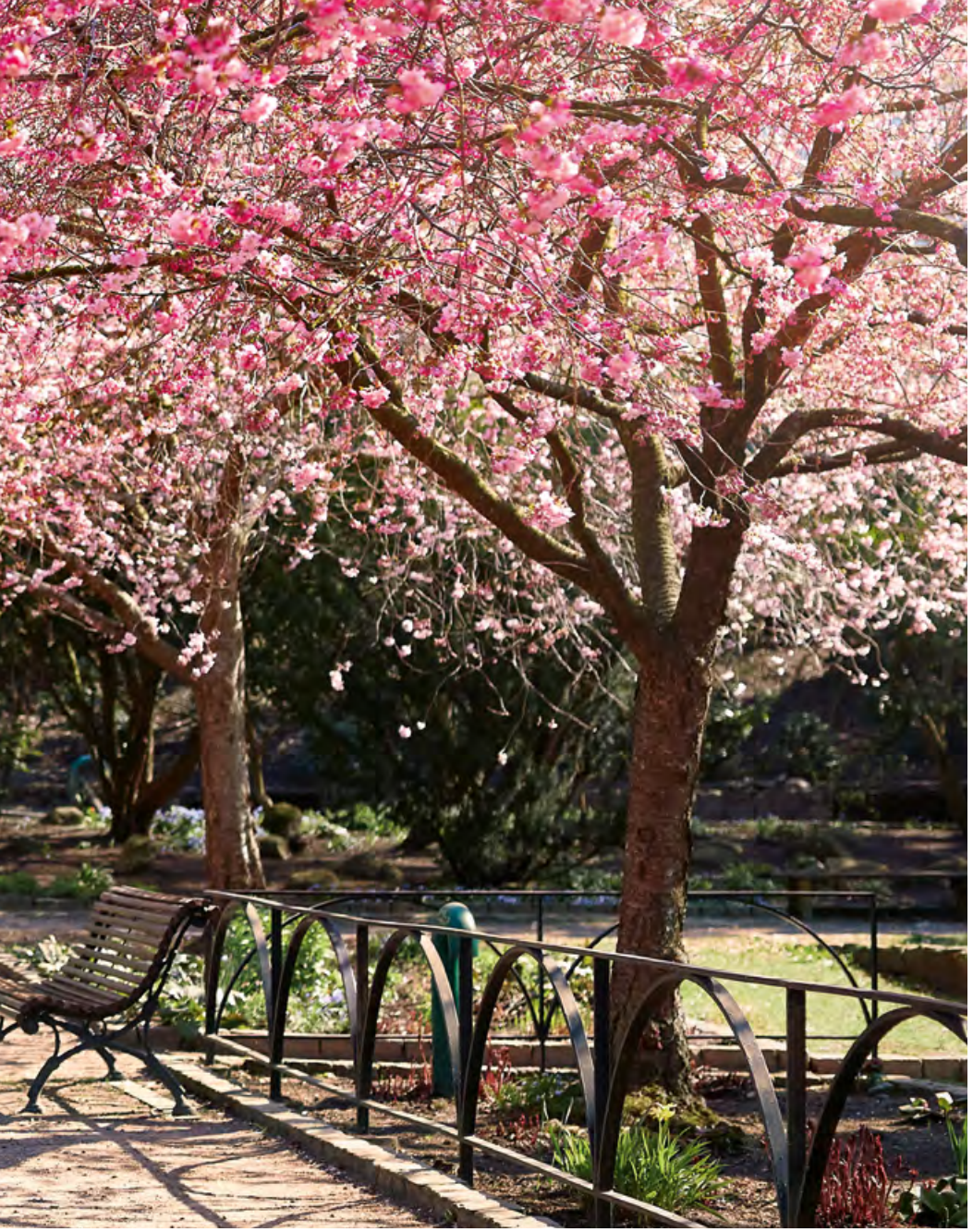


Beim Joggen bequem die Herzfunktion überwachen: Sensorbestückte Pflaster oder Westen machen es möglich.

Smarte Wearables statt Kabelsalat

Weltweit sterben jährlich mehr als neun Millionen Menschen an den Folgen von Herzerkrankungen, in Deutschland verursachen sie ein Drittel aller Todesfälle. Ein KI-gestütztes Sensorsystem kann Warnzeichen frühzeitig erkennen – und damit Leben retten.

Von Dr. Monika Offenberger



Die neuen Wearables können sämtliche Daten mit jeweils

1000

Messpunkten pro Sekunde synchron aufnehmen und abgleichen.

Foto: Johnér/mauritius images

Erschöpfung nach dem Joggen, Atemnot beim Treppensteigen, Beklemmungen vor dem Einschlafen: Die ersten Anzeichen einer Herzschwäche sind meist unspezifisch. Deshalb zögern Betroffene eine medizinische Abklärung oft lange hinaus. »Und wenn sie endlich doch zum Kardiologen gehen, sieht womöglich alles gut aus. Aber am nächsten Tag beim Laufen kommen die Probleme wieder, weil das Herz erst bei Belastung an sein Limit kommt«, weiß Basel Adams, Teamleiter am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM. Ein umfassendes Herz-Monitoring ist oft erst nach wochenlanger Wartezeit zu bekommen und mit enormem Aufwand verbunden.

»Das muss doch besser gehen«, dachte Adams, gelernter Elektrotechniker, und machte sich an die (Doktor-)Arbeit. Im Fraunhofer-Verbundprojekt maia (»Medical Artificial Intelligence Applications« – Center for Applied AI in Medicine) entwickelte er am Fraunhofer IZM gemeinsam mit Partnern von der Charité Universitätsmedizin und der TU Berlin ein intelligentes Sensorsystem, das direkt am Körper getragen werden kann. Es misst eine Vielzahl von Herz- und Kreislaufdaten – kabellos, synchron und zu beliebigen Zeiten – und leitet daraus KI-gestützt Diagnosen und Therapieempfehlungen ab. Bislang entstanden zwei Varianten von sensorbestückten Wearables: Eine individuell anpassbare textile Weste, die über einen längeren Zeitraum einmal täglich für 10 bis 15 Minuten getragen werden soll und dabei mit integrierten Messgeräten physiologische Daten erfasst. Und ein Ensemble aus hautverträglichen Pflastern, die an verschiedenen Körperstellen über Herz und Lunge, auf Hals und Beinen platziert werden, um kontinuierlich Messdaten zu sammeln.

Die Datenerfassung in den Wearables gewährleisten mehrkanalige, halbtrockene Textil-Elektroden, die relevante Signale ▶

von störenden Körperbewegungen unterscheiden können. Die hautfreundlichen Elektroden sind über Klettverschlüsse so in die waschbare Textilweste integriert, dass sie je nach Größe und Statur der Träger optimal am Körper anliegen und ohne vermittelndes Gel direkt in Kontakt zur Haut treten.

Egal ob als Weste oder Pflaster – das intelligente Sensorsystem misst eine Fülle medizinisch relevanter Signale wie Körpertemperatur, Atemfrequenz, Herz- und Lungentöne, Blutdruck und -sauerstoffgehalt, Schlag- und Herzzeitvolumen, ein vollständiges 12-Kanal-EKG und vieles mehr. Aus insgesamt 40 erfassten Rohdaten lassen sich 110 kardiologische Parameter ableiten. Sie liefern ein Gesamtbild der Herz-Kreislauf-Funktionen während unterschiedlicher Aktivitäten: Wenn die Person wach ist oder schläft, Sport treibt oder Stress erlebt, sich freut oder aufregt. Um dieses beeindruckende Arsenal an modernster Medizintechnik in bequeme, alltagstaugliche Wearables zu packen, mussten die verschiedenen Messinstrumente zunächst miniaturisiert und über Schnittstellen miteinander verzahnt werden. Das Ergebnis ist eine Weltneuheit, wie Basel Adams betont: »Es gibt zwar alle möglichen leistungsfähigen Geräte auf dem Markt. Doch sie sind viel zu groß und liefern in der Regel keine Rohdaten, sondern abgeleitete Ergebnisse. Außerdem haben sie keine definierte Schnittstelle, weil jeder Hersteller auf sein eigenes System setzt.«

Die neuen Wearables können sämtliche Daten mit jeweils tausend Messpunkten pro Sekunde synchron aufnehmen und abgleichen. Doch damit nicht genug. »Das System bekommt Inputs aus zwei weiteren Datenquellen«, erklärt Adams. Anfangs erstellt ein Kardiologe ein Profil des Patienten oder der Patientin mit allen Informationen über bekannte Erbkrankheiten, frühere Operationen und eingenommene Medikamente. »Außerdem fragen wir die Person, wie sie sich momentan fühlt, ob sie schnell müde wird, Brustschmerzen, Atembeschwerden oder andere Auffälligkeiten bemerkt hat.« Dazu stellt ein Chatbot einmal am Tag fünf bis zehn Minuten lang Fragen, ähnlich wie ein Arzt sie stellen würde, und speichert die Antworten zusammen mit den anderen Daten in der Cloud.

Bei jeder Messung fließen somit mehr als tausend Informationen aus drei Quellen zusammen und dienen dem System als Basis für eine Diagnose oder Risikoanalyse. »Entscheidend ist, dass wir alle diese Signale synchronisiert erfassen. So kann die KI lernen, Muster zu erkennen und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen. Darin liegt die diagnostische Kraft«, erläutert Adams. Das nötige Fachwissen hat er sich im intensiven Austausch mit den Kardiologen der Charité zunächst selbst angeeignet und dann damit die KI trainiert. Als Grundlage dienen die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie. »So wollen wir sicherstellen, dass unser System nach denselben Kriterien vorgeht wie der Arzt in der Praxis.«

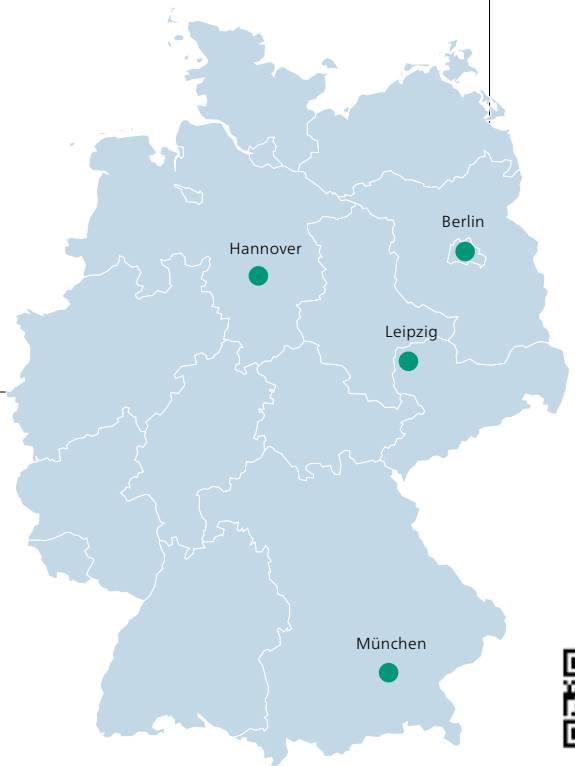
> »Entscheidend ist, dass wir alle Signale synchronisiert erfassen. So kann die KI lernen, Muster zu erkennen und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen. Darin liegt die diagnostische Kraft.«
>
> Basel Adams, Fraunhofer IZM

Bevor die sensorbestückten Westen und Pflaster an herzkranken Menschen erprobt werden können, müssen sie in klinischen Studien ihre Funktionsfähigkeit beweisen. Die Frage lautet: Liegt das KI-gestützte System in seinen Diagnosen und Therapieempfehlungen richtig? Oder trifft es sogar bessere Einschätzungen als erfahrene Kardiologen? Während Basel Adams Partner für Studien sucht – die erforderliche Genehmigung der Ethikkommission liegt inzwischen vor –, denkt sein Kollege Lukas Werft schon über weitere Verbesserungen der Wearables nach. Der Materialtechniker war in der Fraunhofer IZM-Gruppe System On Flex maßgeblich an der Entwicklung der Textilien mit integrierbarer flexibler Elektronik beteiligt. Im derzeitigen Westenmodell leiten die verschiedenen Messelektroden ihre Signale über konventionelle Kabel, die zwischen zwei Textilschichten verlegt sind. »Wenn unser Produkt später auf den Markt kommen soll, könnte man die Elektroden beispielsweise in ein T-Shirt integrieren«, überlegt er. »Das sollte man nach dem Tragen einfach in die Waschmaschine werfen können, im Idealfall beliebig oft. Und dann wäre es natürlich praktisch, wenn man vorher nicht jedes Mal die ganzen Kabel herausnehmen müsste.«

Der Forscher hat auch schon eine Idee, wie sich dieses Problem lösen ließe: mit einer druck- und waschbaren Tinte aus Flüssigmetall, die er zusammen mit Kollegen am Fraunhofer IZM entwickelt hat. Hauptbestandteil dieser neuartigen Liquid Metal Ink (LMI) ist Galinstan, eine elektrisch leitfähige Legierung aus Gallium, Indium und Zinn. Sie lässt sich auf thermoplastisches Polyurethan, also einen durch Wärme verformbaren Kunststoff, aufdrucken und verkapseln – und anschließend mittels Lamination in handelsübliche Textilien einarbeiten. »Wenn wir die konventionellen Zuleitungen durch das Flüssigmetall ersetzen könnten, ließen sich sensorbestückte Textilien wie T-Shirts oder Westen sehr langlebig und waschbar gestalten«, betont Werft.

Eine weitere medizinische Anwendung der Flüssigmetalltinte sieht Lukas Werft in der Kinderheilkunde: »Leider sterben noch viel zu viele Babys am plötzlichen Kindstod, weil in der Nacht unbemerkt die Atmung aussetzt. Herkömmliche Überwachungssysteme sind unbequem und umständlich zu handhaben. Unser Ansatz wäre, Galinstan-basierte Dehnungssensoren direkt in die Babykleidung zu integrieren.« Der Prototyp eines sensorbestückten Schlafanzugs für Babys hat seine Funktionsfähigkeit schon bewiesen: in einem europaweiten Forschungsprojekt namens »Newlife«. ■

Fraunhofer vor Ort



Hannover
20.–24. April 2026
Hannover Messe
Weltleitmesse der Industrie

München
21. April 2026
10 Jahre Fraunhofer-Alumni e.V.
1300 ehemalige Fraunhofer-Mitarbeitende und mehr als 100 Alumni-Managerinnen und -Manager tragen dieses Netzwerk, gestalten Formate und schaffen Begegnungsräume für Austausch, Orientierung und Wissenstransfer. Ziele des gemeinnützigen Vereins sind die Förderung von Wissenschaft und Forschung, der Berufsbildung und der Entwicklungszusammenarbeit.

Berlin
21.–23. April 2026
DMEA
Europäische Messe und Konferenz für digitale Gesundheitsversorgung

München
4.–7. Mai 2026
IFAT
Weltleitmesse für Umwelttechnologien

Leipzig
10.–11. Juni 2026
Fraunhofer-Jahrestagung

Berlin
10.–14. Juni 2026
ILA
Internationale Messe für Luft- und Raumfahrt

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**







Höhenflüge für die Wirtschaft

Weltall als ökonomische Chance: Die New Space Economy wird zum Paradigmenwechsel. Fraunhofer-Forschungsmanagerin Dr. Stephanie Hesse-Ertelt vom Fraunhofer IOF arbeitet daran. Die Faszination Raumfahrt hat sie längst auch privat erfasst. »Wenn es sich ergibt«, sagt sie, »möchte ich mich gerne mal in den Weltraum schießen lassen.«



Fraunhofer