

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Erste Hilfe im All
Schnelle Heilung
dank Super-
Pflaster



Sicherheit &
Infrastruktur

Wie wir das schaffen



Christoph Weingard,
Fraunhofer IZFP

Tumor im Fadenkreuz
Wie eine Standard-
Datenbrille Operationen
revolutionieren kann



Fraunhofer-Forschungspreise
Herausragende Leistungen –
von Video-Technik bis
Aluminium-Produktion



8. Fraunhofer Alumni Summit 2025

Fakten statt Fakes –

wie schützen wir uns vor Cyberkriminalität,
Desinformation und hybriden Bedrohungen?

Freitag, 14. November, Fraunhofer Forum Berlin

+
BND exklusiv: Führung durch
das Besucherzentrum des
Bundesnachrichtendienstes

Wir stellen uns dem Realitäts-Check

Von Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Es sind viele Nachrichten in diesen Zeiten – auch, aber nicht allein aus den USA –, die uns Europäern eines deutlich machen: Die Unabhängigkeit der Wissenschaft, die Freiheit der Forschung sind Güter, die wir vielleicht viel zu lange als viel zu selbstverständlich hingegenommen haben. Was, wenn nicht Rationalität, Wissen und das Suchen nach echten Lösungen, kann das Mittel gegen populistische Glaubensfragen sein?

Wenn der Präsident einer der führenden Gesellschaften für angewandte Forschung eine solche Aussage trifft, mag das vielleicht niemanden verwundern. Eine andere schon sehr viel eher: Die Freiheit der Forschung darf gerade in Zeiten knapper Mittel nicht als die Freiheit missverstanden werden, Steuergelder zu verschwenden. Ganz im Gegenteil. Wenn im ersten Halbjahr 2025 die Wirtschaftsleistung in Deutschland stagniert und das Bruttoinlandsprodukt um 0,3 Prozentpunkte schrumpft, dann sehen wir klar: Wir brauchen strategische Investitionen in die Zukunft – die Innovationskraft ist der entscheidende Rohstoff, über den Industrie und Mittelstand in Deutschland verfügen. Doch müssen diese Investitionen zielgerichtet und wirksam eingesetzt werden.

Wissenschaft ist nicht dafür da, dass alle das Gleiche liefern. Deutschland hat, und das ist ein unschätzbares Gut, ein wunderbar ausdifferenziertes Wissenschaftssystem – von exzellenter Grundlagenforschung bis zum direkten Transfer in die Wirtschaft. Doch laufen wir Gefahr, dass an alle vier Forschungsorganisationen auf Bundesebene gerade heute sehr ähnliche Anforderungen gestellt werden. Das ist nicht nur ineffizient für die Forschung. Auch verlagert das Steuergelder in eine Richtung, in der eigentlich der Wettbewerb ausschlaggebend sein sollte.

Wir bei Fraunhofer wissen, wer wir sind. Wir wissen, was wir können. Und wir wissen, was wir wollen. Seit dem Jahr 1949 stärken Fraunhofer-Institute die Wettbewerbsfähig-

Editorial



Prof. Dr.-Ing.
Holger Hanselka

keit der Wirtschaft und den Innovationsraum Deutschland – übrigens von Anfang an auch mit einer Kernkompetenz in dem heute wieder so gefragten Feld Sicherheit und Verteidigung (siehe auch Seite 10 bis 23). Aktuell fast 32 000 Mitarbeitende suchen nach Lösungen für nahezu jede akute Problemstellung – das ist angewandte Forschung. Unser wichtigstes Geschäftsfeld ist die Auftragsforschung. Da profiliert sich Fraunhofer immer wieder neu als bedeutender Lieferant von Innovation und Know-how für Unternehmen aller Größen. Transfer in die Wirtschaft: Das ist die Rolle, das ist das Profil, das ist die Stärke von Fraunhofer.

Berühmt ist die Fraunhofer-Gesellschaft für ihr Fraunhofer-Modell. Wir bekommen maximal ein Drittel Grundfinanzierung, mindestens zwei Drittel erwirtschaften wir Jahr für Jahr im Wettbewerb selbst. Das schafft Resilienz. Das ist aber auch Herausforderung. Die rund 8000 Industrieprojekte pro Jahr sind unser Realitäts-Check. Und den bestehen wir zuverlässig und mit Bravour.

Lassen Sie uns gemeinsam für die Freiheit der Forschung eintreten. Und für ein ausdifferenziertes Wissenschaftssystem, in dem Mittel marktgerecht eingesetzt werden. Transfer für unsere Zukunft, Transfer für die Zukunft unseres Landes.

Ihr

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

Inhalt



38 Infrastruktur Sondervermögen, aber sparsam

Informatikerin Tagline Treichel vom Fraunhofer IESE sichert reale Bauwerke durch Digitale Zwillinge.



26 Stimme aus der Wirtschaft

Europas Pharmaindustrie am Scheideweg – ein Standpunkt von Stefan Oelrich, Vorstandsmitglied der Bayer AG

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

26 **Forschung für eine gesunde Zukunft**

Stefan Oelrich, Vorstandsmitglied der Bayer AG und Präsident der EFPIA

28 **Lösungen für Rohstoffengpässe**

Das Leitprojekt ORCHESTER befeuert einen Paradigmenwechsel in der Werkstoffforschung

10 Wissenschaft, die schützt Attacken gekonnt stoppen

Prof. Daniel O'Hagan arbeitet am Fraunhofer FHR an der Abwehr von Hyperschallwaffen.

10 **Forschen für die Sicherheit**

Wehrhaft werden: Fraunhofer fahndet nach Hightech-Lösungen für einen besseren Schutz von Armee und Bevölkerung

21 **Die Verteidigung der Lufthoheit**

Ein hochautomatisiertes Abwehrsystem kann feindliche Drohnen lokalisieren, identifizieren und unschädlich machen

22 **Das Schutzschild wächst**

Zehn Fraunhofer-Projekte, die kritische Infrastrukturen und Zivilgesellschaft absichern

24 **Global vernetzt, global verwundbar**

Lieferketten krisenfest gestalten: Intelligente Algorithmen können Unternehmen entscheidend unterstützen

30 Einen Riecher für Whisky

Mithilfe eines KI-Tools lässt sich die Herkunft von Whisky ermitteln. Doch den Forschenden geht es um sehr viel mehr als das

32 Bei Anruf: Fake!

Mit Aufklärung, geschultem Gehör und innovativen Erkennungssystemen gegen betrügerisches Voice-Cloning

35 Vorfahrt für die Radlogistik

Wie können Cargobikes & Co. auch auf dem Land an Tempo gewinnen?

38 Sanierungsfall Deutschland

Fraunhofer-Technologien sollen die Wartung und Instandhaltung kritischer Infrastrukturen erleichtern und beschleunigen

51 Der Sound sicherer Brücken

Mit akustischem Monitoring alternde Bauten großflächig überwachen

56 Guter Genuss

Ein Start-up beweist: Selbst Kaviar lässt sich nachhaltig herstellen



30 Whisky-Erkennen

Fraunhofer-Forschende haben einer KI das Riechen beigebracht.

52 Mit dem Laser gegen die Ewigkeitskosten

Atomfässer prüfen, ohne sie zu öffnen: Neutronenstrahlen machen das möglich

54 Mission Power-Pflaster

Eine neue Form der Wundversorgung im All könnte auch auf der Erde viel Leid lindern

56 Kaviar 2.0

Das Fraunhofer-Spin-off BLUU Seafood will den Ozeanen mit Food-Produkten aus Fischzellen eine Atempause verschaffen

58 Ausgezeichnete Forschung

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2025: Batterie, Video, Aluminiumherstellung – und eine fahrbare Gesundheitsplattform

66 Clever kleben

Stärke als umweltfreundlicher Leim für industriell gefertigte Faltschachteln

68 Foto & Fraunhofer

Dank Sensortechnologie und KI bringt die Europalette Transparenz ins logistische Geschehen

**70 Wissenschaftskommunikation für ein besseres Morgen**

25 Jahre WiD: Über Forschung muss man auch reden – heute mehr denn je

72 Tumor im Fadenkreuz

Digitaler Wegweiser: Eine Datenbrille macht Operationen künftig sicherer und kostengünstiger

74 Fraunhofer international**76 Revolution auf hoher See**

Die Vermessung des Meeresgrundes – damit Windräder künftig besser verankert sind

79 Fraunhofer vor Ort

36 Prozent aller Brücken der Bundesstraßen und Autobahnen sind sanierungsbedürftig oder müssen neu gebaut werden; dazu kommen noch einmal ähnlich viele marode Brücken unter kommunaler Verwaltung.

Quelle: Studie »Ausgebaut!« (April 2025), Transport & Environment Deutschland gGmbH

36 %

Kurz gemeldet

Die präzise Erfassung von Niederschlägen in Echtzeit hilft auch bei Hochwasserkatastrophen, Schutzmaßnahmen gezielter zu planen.



Wetterprognosen verbessern

Ein akustischer Regensensor soll helfen, die Genauigkeit von Wettervorhersagen zu erhöhen. Entwickelt wird der innovative Sensor von einem Forschungsteam des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie IDMT gemeinsam mit einem Partner aus der Industrie. Im Projekt lokalRAIN wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler akustische Schwingungen, die beim Aufprall der Regentropfen auf Oberflächen entstehen, aufnehmen und mithilfe von KI in Echtzeit auswerten.

Das Sensorsystem soll es ermöglichen, räumlich verteilten Niederschlag zu erfassen und zu analysieren. Dafür wird neben einer Technologie für effizientes Maschinelles Lernen auch eine kosten- und energieoptimierte Rechenhardware für den Einsatz in der Sensorik entwickelt. Wichtig ist zudem die zuverlässige Übertragung der erfassten Niederschlagsdaten von den einzelnen Sensorknoten über vernetzte Infrastrukturen bis zum Server. Auf dem Server werden die Daten hinsichtlich verschiedener Niederschlagsparameter wie Menge, Tropfengröße und räumliche Verteilung zusammengeführt und in Echtzeit für Vorhersagen ausgewertet. Bisher liegen nur für ausgewählte Standorte mit Wetterstationen verlässliche Niederschlagsdaten vor, die Wetterprognosen sind entsprechend ungenau. ■

Batterien in E-Autos zuverlässig überwachen

Ein neuartiges Messverfahren ermöglicht ein optimiertes Batteriemanagement in E-Autos und hilft so, sie sicherer zu machen und ihre Lebensdauer zu verlängern. Die dynamische Impedanzspektroskopie aus dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM wertet detaillierte Messdaten zum Batteriezustand während des laufenden Betriebs in Echtzeit aus. Die so gewonnenen Informationen umfassen weit mehr als nur Angaben zur Ladekapazität oder der noch verbleibenden Betriebsdauer: Sie zeichnen ein präzises, tiefgehendes und differenziertes Bild des Innenlebens der Batterie. Daraus lässt sich auch die mögliche Lebensdauer der Batterie zelle individuell vorhersagen.

Aus der Impedanz lassen sich zudem Rückschlüsse auf die Temperatur innerhalb der Zelle gewinnen. Deshalb können Batteriemanagementsysteme mithilfe der Impedanzdaten beispielsweise während der Fahrt im E-Auto sofort registrieren, wenn eine Zelle sich lokal stark erhitzt, und diese abschalten. Her-

kömmliche Temperaturfühler registrieren eine Überhitzung der Batteriezellen hingegen nur mit Verzögerung. Impedanzmessungen waren bisher ausschließlich im Ruhezustand realisierbar. ■



Sicher im E-Auto unterwegs: Eine permanente, detaillierte Messung des Batteriezustands ermöglicht eine bessere Kontrolle.

Nachhaltige Antifouling-Beschichtung

Eine biologisch abbaubare, umweltverträgliche Antifouling-Beschichtung ist das Ziel des Projekts BioSHIP. Sie soll Muscheln, Seepocken und Algen zuverlässig davon abhalten, Schiffsrümpfe zu besiedeln. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM setzen auf nachhaltige Formulierungen, unter anderem biobasierte Polymere oder Chitosan-Derivate, die sich unter marinen Bedingungen kontrolliert abbauen, ohne schädliche Rückstände zu hinterlassen. Die innovative Beschichtung soll mit deutlich weniger toxischen Schwermetallen auskommen als herkömmliche biozidhaltige Mittel. Sie wird unter realen marinen Bedingungen getestet. Ökotoxikologische Studien stellen sicher, dass die entwickelten Substanzen keine schädlichen Auswirkungen auf Meeresorganismen haben.

Der Bewuchs von Schiffen erhöht den Strömungswiderstand und daher den Treibstoffverbrauch. Dies führt nicht nur



zu höheren Kosten, sondern auch zu mehr CO₂-Emissionen. Zudem besteht das Risiko, dass Schiffe invasive Arten in neue Gewässer transportieren, was lokale Ökosysteme bedrohen kann. ■

Schiffsrümpfe zu säubern ist Schwerarbeit. Gut, wenn sich erst gar nichts festsetzen kann.

Fraunhofer-Zukunftsstiftung unter neuer Leitung

Prof. Thomas Hirth war zwischen 1992 und 2015 in diversen Funktionen bei der Fraunhofer-Gesellschaft tätig.



Prof. Thomas Hirth ist neuer Vorstandsvorsitzender der Fraunhofer-Zukunftsstiftung, einer der größten forschungstechnischen Stiftungen in Deutschland. Der Vizepräsident für das Ressort »Transfer und Internationales« am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

übernahm im Juli das Amt von Vorgänger Prof. Hans-Jörg Bullinger, der die Stiftung seit 2020 geleitet hatte.

Der studierte Chemiker Hirth kennt Fraunhofer gut: Zwischen 1992 und 2015 arbeitete er in verschiedenen Funktionen bei der Fraunhofer-Gesellschaft, unter anderem als Präsidiumsmitglied und als Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart.

2008 gegründet, unterstützt die Fraunhofer-Zukunftsstiftung Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft bei der Entwicklung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen, die einen wichtigen Beitrag zur Lösung globaler Herausforderungen leisten. Dabei orientiert sich die Stiftung an gesellschaftlich und technologisch relevanten Themen und setzt auf Kooperationen mit Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. ■



Wie entstehen schwarze Löcher? Das Einstein-Teleskop soll hier neue Erkenntnisse liefern.

Neue Infrastrukturen für die Forschung

Fraunhofer-Forschende stehen mit zwei Vorhaben auf der Shortlist im nationalen Priorisierungsverfahren für neue Forschungsinfrastrukturen (FIS). Das Zentrum für Gen- und Zelltherapie in Regeneration und Transplantation (CREATION), bei dem sich das Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI einbringt, will »Off the Shelf«-Therapien entwickeln und deren Herstellung durch KI-gestützte Automatisierung verbessern. Ziel des Großprojekts »Einstein-Teleskop« (ET) unter Beteiligung der Fraunhofer-Institute für Lasertechnik ILT, für Optik und Feinmechanik IOF sowie für Produktionstechnologie IPT ist die Entwicklung eines revolutionären Instruments zum Nachweis von Gravitationswellen, um etwa die Entstehung von schwarzen Löchern zu erforschen.

Mit dem Priorisierungsvorhaben wählt das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt jene FIS-Vorhaben aus, deren Realisierung die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stärkt. Für die Shortlist wurden mithilfe eines Expertengremiums neun Projekte aus 32 Kurzkonzepten ausgewählt. Diese werden nun in Abstimmung mit dem Wissenschaftsrat weiter ausgearbeitet. ■

Gaming steigert Umweltbewusstsein

Das doppelt preisgekrönte Nachhaltigkeits-Computerspiel »Little Impacts« des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE kommt nicht nur bei Kindern und Jugendlichen gut an, sondern zeigt auch Wirkung: Das Spielen fördert das Umweltbewusstsein signifikant, ergab jetzt eine Studie. Die in einem Prä-Post-Design konzipierte Umfrage wurde unter 56 Teilnehmenden bei Gaming-Veranstaltungen durchgeführt. Dabei wurden die Teilnehmenden vor dem Spielen und etwa ein bis zwei Wochen danach zu ihren Einstellungen befragt. Den stärksten Anstieg konnten die Forschenden in der Kategorie »Veränderungsbereitschaft« ermitteln.

»Little Impacts« wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt. Ende 2024 erhielt das Spiel den Kindermedienpreis TOMMI Award; im Mai 2025 wurde es zur »App des Monats« der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendliteratur e.V. gekürt. Die interaktive Novelle besticht durch handgezeichnete Artworks, authentische Charaktere, humorvolles Storytelling und eine gemütliche Spielatmosphäre. ■



Spielend lernen: »Little Impacts« macht's möglich.

Impressum

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

Herausgeber:

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

Kostenloses Abonnement:

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

Redaktion:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Dr. Patrick Dieckhoff, Meike Grewe,
Sirka Henning, Andrea Kaufmann, Lisa
Scherbaum, Kathrin Schwarze-Reiter,
Mehmet Toprak, Yvonne Weiß, Ulla
Wolfshöfer

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Jonas Ratermann
**Fotografie »Forschen für die
Sicherheit«:** Marina Rosa Weigl

Druck:

be1druckt GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2025

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/11586-2411-1001



MIX
Papier | Fördert
gute Waldnutzung
FSC® C022647



Bier-Garten: Die
Hallertau in Bayern
ist das weltgrößte
Hopfenanbaugebiet.

Ein Prosit der Nachhaltigkeit

Fraunhofer-Forschende suchen nach ökologisch besseren Wegen, um die 85 Millionen Hektoliter Bier herzustellen, die jährlich in Deutschland gebraut werden.

Wie lässt sich der fürs Bierbrauen unverzichtbare Hopfen nachhaltig trocknen? Auf der Suche nach Alternativen zum bislang verwendeten Heizöl haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV in Augsburg im Projekt »Grüner Hopfen« verschiedene Optionen simuliert und hinsichtlich Effizienz, Treibhausgas-Emissionen und Wirtschaftlichkeit analysiert.

Ob biogene Brennstoffe wie Pellets, der Einsatz von Wärmepumpen oder Wasserstoff als Energiequelle: »Voraussetzung war bei allen Varianten, dass die Technologie die spezifischen Anforderungen der Hopfentrocknung erfüllen muss«, erklärt Projektleiter Vincent Kalchschmid vom Fraunhofer IGCV.

Das Ergebnis der Simulationsstudie: Die eine Lösung für alle gibt es nicht. Mit jeder der drei Alternativen lassen sich die erforderliche Heizleistung erreichen und die Treibhausgas-Emissionen senken, doch jede hat spezifische Vor- und Nachteile: Biogene Brennstoffe sind techno-

logisch bereits ausgereift, erfordern aber einen hohen logistischen Aufwand. Wärmepumpen sind hocheffizient und nutzen erneuerbare Wärmequellen, zeichnen sich jedoch aus durch hohe Investitionskosten und eine bestehende Abhängigkeit von externen Stromquellen. Und Wasserstoff als Energiequelle erfordert eine kostspielige Infrastruktur; zudem ist die Marktentwicklung dieser Technologie ungewiss.

Betriebsgröße, die infrastrukturellen Voraussetzungen sowie die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen, Brennstoffe und Technologien am Standort: »All diese Aspekte haben Einfluss auf die Wahl der Technologie«, betont Kalchschmid. Doch klar ist auch: Für den Biergenuss mit gutem Öko-Gewissen muss die Hopfentrocknung grüner werden. Allein für die Jahrernte in der Hallertau – das mit 19 000 Hektar größte zusammenhängende Hopfenanbaugebiet weltweit – werden dafür jährlich 14 Millionen Liter fossiler Brennstoff benötigt. So viel wie der jährliche Bedarf von 7000 Haushalten. ■

Forschen für die Sicherheit

Deutschland investiert in Sicherheit und Verteidigung. Nicht nur bei der Bundeswehr, auch beim Schutz der Bevölkerung und der kritischen Infrastrukturen sind zahlreiche Forschungsprojekte am Start. Noch sind nicht alle Herausforderungen gelöst. Doch der Blick in die Zukunft hellt sich auf.

Von Mehmet Toprak; Fotografin: Marina Rosa Weigl

Abwehrtraining: Laserexperte Dr. Thomas Schreiber arbeitet an Hochleistungslasern, die anfliegende Drohnen aus mehreren Kilometern Entfernung unschädlich machen.

Wissenschaft, die schützt



Mission Nordsee: Kai Brune nutzt Drohnen, um Echtzeit-Lagebilder von maritimen Notfallsituationen in ein Lagezentrum zu schicken.



Die Nordsee ist rau. Die Nordsee ist schön. Immer interessanter wird, was sie am wenigsten zeigt. Auf dem Meeresboden liegen Kabel, Leitungen und Pipelines. Das Kabel Nordlink verbindet Wilster in Schleswig-Holstein mit dem norwegischen Tostad und transportiert grünen Strom. Das NorNed-Kabel, mit 580 Kilometern das längste Stromkabel der Welt, führt

auf dem Weg von Norwegen in die Niederlande auch durch die Nordsee. Von 2030 an soll hier die Pipeline AquaDuctus den ersten großen Wasserstoff-Windpark anschließen. Energie, Daten, Kommunikation: eine Menge kritischer Infrastruktur – und bisher ist sie kaum abgesichert.

Auf dem Nordseegrund fehlt der Schutz. So wie bei den Anlagen von Energienetzbetreibern oder Wasserwerken, so wie bei vielen Brücken, Verkehrsnetzen und Krankenhäusern in Deutschland und Europa. Die steigende Zahl von Spionage-, Sabotage- oder Cyberattacken macht immer deutlicher, wie wichtig es ist, kritische Infrastruktur wirksam zu schützen. Caroline Schweitzer, Geschäftsführerin Fraunhofer-Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS, ist überzeugt, dass Fraunhofer-Forschende helfen können: »Wir verfügen über ein breites Spektrum an Kompetenzen in der Sicherheitsforschung, die aufgrund ihrer Vielseitigkeit sowohl im zivilen als auch im wehrtechnischen Kontext Anwendung finden können.«

In der Deutschen Bucht soll nun das Projekt ELO (Echtzeitlagebild Offshore) einen ersten großen Schritt in Sachen Schutz der Infrastruktur tun. Innerhalb des Projekts wird ein Echtzeit-Lagebild für maritime Notfallsituationen aufgebaut. Dafür werden Bilder und Videos verschiedener Quellen genutzt, die unter anderem von Drohnen geliefert werden.

Der Einsatz dieser Technologie soll nicht nur bei der Rettung havariierter Schiffe unterstützen, sondern trägt auch dazu bei, kritische Infrastrukturen wie Häfen oder Offshore-Windparks vor illegalen Aktivitäten wie Sabotage zu schützen, indem Bedrohungen frühzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können.

Beteiligt am Projekt ELO ist das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM mit seinem Offshore Drone Campus Cuxhaven. Aufgabe von Kai Brune und seinem Team ist die Einbindung von Drohnensystemen in das Betriebskonzept des

Lagezentrums sowie die automatisierte Erzeugung von Bild- und Videomaterial in der Deutschen Bucht. Die Bilder einer viele Kilometer entfernt fliegenden Drohne hochauflösend und ruckelfrei auf die Bildschirme des Lagezentrums zu übertragen, stellt eine enorme Herausforderung dar. → **Siehe Projekt 3 | Seite 22**

»Verantwortungsvoll gehandhabt, dient zivile als auch wehrtechnische Forschung dem Nutzen der gesamten Gesellschaft.«

Caroline Schweitzer,
Fraunhofer-Leistungsbereich VVS

Als Fluggerät für den Einsatz über der Nordsee nutzen die Forschenden die S360Mk.II des Projektpartners Hanseatic Aviation Solutions. Mit einer Spannweite von 3,60 Metern ist das Fluggerät für den Einsatz über dem offenen Meer bestens geeignet. »Mit diesem System wurden schon Flüge nach Helgoland und zurück mehrmals erfolgreich realisiert«, lobt Brune.

Wenn es darum geht, Drohnen für den fordernden Flug über Nord- und Ostsee fit zu machen, ist das Fraunhofer IFAM eine der ersten Adressen in Europa. Neben dem Standort Cuxhaven betreibt

das Institut gemeinsam mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) das Testzentrum für Maritime Technologien auf Helgoland. Hier werden unter anderem Drohnen-Technologien für den Einsatz unter extremen Offshore-Bedingungen getestet.

Sobald kritische Infrastrukturen auf dem Meeresboden bedroht sind, ist es wichtig, auch hier mit mobilen Systemen präsent zu sein. Gefragt sind unbemannte Unterwasserfahrzeuge mit leistungsfähiger Sensorik, langlebigen Akkus und KI-Steuerung. Sie müssen robust genug sein, um auch in Tiefen von bis zu 1000 Metern ihre gefährlichen Aufgaben zu erledigen. Das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB mit dem Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST in Ilmenau stellt dafür eine Forschungsplattform zur Verfügung. Ein Testbecken bietet die Möglichkeit, Hard- und Software für Unterwasserfahrzeuge sowie -komponenten zu entwickeln und zu erproben. Eine Druckprüfanlage testet Baugruppen auf Dichtigkeit und Stabilität.

Prof. Werner Riedel ist Chief Scientist Defence am Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, daneben Honorarprofessor an der Hochschule Furtwangen und Gastprofessor an der renommierten NTU Singapur. Zudem hat er auf EU-Ebene jahrzehntelange Erfahrung in der zivilen und militärischen Sicherheitsforschung. ►

Er begrüßt den Fokus auf die Drohnentechnik. »Drohnen werden in den nächsten Jahren für Szenarien der Verteidigung und Sicherheit von zentraler Bedeutung sein. Damit wir mithalten können, müssen wir in Deutschland und europaweit intensiv an der Weiterentwicklung und Integration forschen.«

Schutz vor Drohnen in der Stadt

Zum Drohnen-Know-how gehört auch das Wissen, wie sich die Fluggeräte erkennen und abwehren lassen, wenn sie sich unerlaubt in der Nähe von Standorten der Bundeswehr, von Flughäfen oder von Kraftwerken bewegen.

Bisher geschieht das durch Radarsysteme oder Kameras. Die Systeme sind technisch aufwendig und benötigen viel Energie. Zudem sind Radaranlagen durch die ausgesandten Funkwellen leicht zu entdecken. In beengten urbanen Gebieten oder in der Nähe von Krankenhäusern oder Wohngebäuden lassen sich Radarsysteme wegen des schädlichen Elektromogs gar nicht betreiben.

Dr. Christian Steffes vom Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE hat eine Lösung: Passivradar. Solche Anlagen senden selbst keine Wellen aus. Sie machen sich die Tatsache zunutze, dass fliegende Objekte auch Mobilfunkstrahlung reflektieren. Passivradar kann aus Unterschieden zwischen den direkten Signalen der Mobilfunkbasisstation und den eintreffenden Wellen des Objekts Werte wie Entfernung, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit ermitteln. Die Technik setzt dabei nicht nur auf frei zugängliche Mobilfunknetze, sondern auch auf LTE 450. Dieser Mobilfunkstandard wurde speziell für die sichere Kommunikation der Betreiber kritischer Infrastrukturen entwickelt. Er ist besonders ausfallsicher und robust. → **Siehe Projekt 4 | Seite 22**

Es gibt eine Einschränkung. »So genau wie konventionelle Radaranlagen arbeitet Passivradar nicht«, sagt Steffes. »Doch wenn Drohnen oder Drohnenschwärme erst einmal detektiert wurden und Aufklärungsbedarf besteht, dann

»Drohnen werden in den nächsten Jahren für Szenarien der Verteidigung und Sicherheit von zentraler Bedeutung sein.«

Prof. Werner Riedel,
Fraunhofer EMI



Foto: Kilian Krieb

nutzen wir weitere Sensoren wie Kameras oder Aktivradar.« Das Fraunhofer FKIE hat deshalb eine Fusion Engine erarbeitet, die alle Sensordaten zusammenschaltet, kombiniert und auswertet. Solche Multisensorsysteme werden immer wichtiger bei Sicherheits- und Verteidigungstechnologien.

Präzise wie ein Skalpell

Eine Technologie, um Drohnen unschädlich zu machen, entwickelt das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF. Das Forschendenteam arbeitet dabei mit Lasertechnik mit einer Wellenlänge von zwei Mikrometern. Hochleistungslaser, die in der Lage sind, auch viele Kilometer entfernte Objekte zu treffen, nutzen bisher ein Mikrometer. Allerdings ist in diesem Wellenbereich nicht nur der Laserstrahl selbst, sondern auch das von Objekten reflektierte Laserlicht schädlich für die Augen. Deshalb ist der Einsatz in dicht besiedelten Gebieten nicht erlaubt.

Die Streustrahlung bei zwei Mikrometern dagegen wird von Wasser absorbiert, also auch von der feuchten Hornhaut des Auges. Daher geht von ihr eine deutlich geringere Gefährdung für die Augen aus. Um diese Wellenlänge zu erzeugen, haben die Fraunhofer-Forschenden Glasfaser mit der Seltenen Erde Thulium versetzt und eine spezielle Optik entwickelt. Drei Laserstrahlen werden durch ein Beugungsgitter zu einem Strahl vereint. Möglich wird dies auch durch die verbesserte Kühlung der Fasern. Gleichzeitig reflektiert das Gitter mehr als 99 Prozent des Laserlichts und erhitzt sich deshalb nicht so stark.

Dr. Thomas Schreiber, Leiter der Abteilung für Laser- und Fasertechnologie am Fraunhofer IOF, sagt: »Durch die punktgenaue Wirkung des Laserstrahls lässt er sich einsetzen wie ein Skalpell. In einem Kilometer Entfernung hat er einen Querschnitt von etwa einem Zentimeter. Man könnte damit bei einer anfliegenden Drohne genau auf die Steuerelektronik zielen.« Auch Seefregatten der Bundeswehr wären mit dem Hochleistungslaser in der Lage, sich gegen anfliegende Objekte zu wehren. Ein Vorteil dabei: Der Laser benötigt keine Munition, die gelagert und nachgefüllt werden muss. → **Siehe Projekt 6 | Seite 23** ►

Raffiniertes Passivradar:

Dr. Christian Steffes nutzt die Reflexion von Mobilfunkstrahlen, um anfliegende Drohnen zu detektieren.



Gefahrensuche nicht nur ins Blaue: Hans Peter Stuch arbeitet an einem System, das Daten aus unterschiedlichen Quellen sammelt und so hybride Angriffe schneller erkennt.



Kampf der intelligenten Systeme

Wo sich intelligente Abwehrsysteme mit intelligenten Drohnen oder Drohnenschwärmen einen Kampf liefern, gibt es auch positive Aspekte: Wenn Maschinen gegeneinander antreten, kommt erst mal kein Mensch zu Schaden.

Allerdings werden in der Welt von KI, Software und autonomen Systemen die Bedrohungsszenarien komplizierter. Stichwort: hybrider Angriff. Hans Peter Stuch, Forschungsgruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE, mag das Wort »hybrid« nicht. »Es wird inflationär verwendet. Echte hybride Angriffe sind koordinierte Attacken, die aus unterschiedlichen Domänen kommen.« Ein Beispiel: In sozialen Netzwerken häufen sich kritische Posts gegen die Bahn. Im Web startet ein Cyberangriff gegen eine Stellwerksanlage. Unbekannte attackieren eine Stromleitung. In jeder Domäne scheint der Angriff nur als Nadelstich und nicht schwerwiegend zu sein. In der Summe bilden sie jedoch eine erhebliche Bedrohung oder richten enormen Schaden an.

Das Team am Fraunhofer FKIE arbeitet deshalb an einem System, das Infos aus unterschiedlichen Domänen sammelt, Daten von physischen Sensoren wie beispielsweise Überwachungskameras oder Funkempfänger und von Software-Tools, die im Netzwerk Malware-Attacken registrieren. Hinzu kommen Beobachtungen in sozialen Medien, etwa wenn plötzlich bestimmte Schlagwörter gehäuft auftreten. Alle Infos werden in einer Lagedarstellung zusammengefasst und visualisiert. In der Zusammenschau wird sichtbar, dass die unterschiedlichen Vorgänge in unterschiedlichen Domänen tatsächlich zusammenhängen, auch wenn sie zeitlich weit getrennt sind. → **Siehe Projekt 7 | Seite 23**

Sicherheitsrisiko: Missverständnisse und schlechtes Management

Damit die Sicherheitsverantwortlichen bei Cyberattacken richtig reagieren, bieten die Expertinnen und Experten des Fraunhofer FKIE regelmäßige Sicherheitsschulungen an. Kunden sind vor allem Energieversorger und Netzbetreiber, das Interesse ist in den vergangenen Jahren gestiegen. »In vielen Fällen hapert es in der Kommunikation und Koordination. Auch unklare Zuständigkeiten sind

ein Risikofaktor«, berichtet Dr. Martin Serror, selbst Dozent für Cybersicherheit. »Bei unseren Schulungen sind deshalb die Themen Kommunikation und Koordination ganz wesentlich. Wir bieten eine realitätsnahe und für den jeweiligen Kunden maßgeschneiderte Simulationsumgebung. Typischerweise müssen die Teilnehmenden zunächst Alltagsaufgaben erledigen und werden dann plötzlich mit einem Cyberangriff konfrontiert.« → **Siehe Projekt 8 | Seite 23**

Das vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unterstützte Projekt HERAKLION hat sich »heuristische Resilienzanalysen für Kommunen mittels Datenraumfunktionalitäten« als Ziel gesetzt. Was klingt wie eine abstrakte wissenschaftliche Studie, kann Leben retten. »Durch HERAKLION wissen Einsatzkräfte beispielsweise bei einer Flutkatastrophe schon vorab, welche Umwege sie wegen Überschwemmungen fahren müssen, wie viele Personen, Gebäude und kritische Infra-

strukturen betroffen sind und welche Turnhallen für evakuierte Menschen erreichbar sind«, sagt Dr.-Ing. Kai Fischer, Gruppenleiter Robustheits- und Resilienzanalysen am Fraunhofer EMI.

Um die dafür nötigen Informationen zu gewinnen, führt HERAKLION Daten aus verschiedenen Quellen effizient zusammen: Bevölkerungsstruktur, Wetterdaten, Waldbrandrisiko, Hochwasser- oder Starkregengefahrenkarten und vieles mehr. Um die Information aus den Datenanalysen auf dem Dashboard möglichst praxisnah zu gestalten, haben die Entwickler von Anfang an mit Mitarbeitenden des Katastro-

phenschutzes und Einsatzplanern zusammengearbeitet. → **Siehe Projekt 9 | Seite 23**

Für Fachmann Werner Riedel lassen sich Zivilschutz und Verteidigungstechnik immer weniger trennen: »Hier wächst zusammen, was schon immer zusammengedacht werden sollte. Resiliente Infrastrukturen, Schutz der Zivilbevölkerung und Verteidigung betreffen am Ende vielfach dieselben Themen, Strukturen und Fähigkeiten.«

Fraunhofer VVS-Geschäftsführerin Schweitzer ergänzt: »Verantwortungsvoll gehandhabt, dienen zivile als auch wehrtechnische Forschung dem Nutzen der gesamten Gesellschaft. Sie unterstützen gleichzeitig beim effizienten Einsatz der finanziellen Mittel.« ▶

»In vielen Fällen hapert es in der Kommunikation und Koordination. Auch unklare Zuständigkeiten sind ein Risikofaktor.«

Dr. Martin Serror, Fraunhofer FKIE

Ein schönes Beispiel für das Verschmelzen von ziviler Technik und militärischem Gewinn ist RISK.twin. Bei dem Vorhaben, an dem sich das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE mit der Universität der Bundeswehr München und dem Softwareunternehmen NetApp beteiligt, geht es darum, Digitale Zwillinge von Brücken zu generieren, um ein smartes Instandhaltungsmanagement zu ermöglichen.

Die Brücken werden mit Sensoren bestückt, die Werte wie Schwingungen, Dehnungen und Temperatur messen. Zusammen mit den Basisdaten der jeweiligen Brücke erlaubt dies die Einschätzung ihrer Auslastung und Tragfähigkeit. Die Sensordaten lassen sich sogar im Stundentakt in einem Lagezentrum auf einem Dashboard aktualisieren. In einem Verteidigungsfall, wenn NATO-Truppen in Deutschland operieren, könnten diese ihre Marschrouten besser planen. Militärfahrzeuge sind häufig Schwergewichte, dementsprechend sind die Funktionsfähigkeit und die Tragfähigkeit einer Brücke eine hochrelevante Information. Bei Brücken, die durch Attacken beschädigt wurden, geben die Sensoren Auskunft darüber, bis zu welchem Gewicht sie noch gefahrlos passierbar sind.

Über clevere Sensoren hinaus, jenseits von Software-Tools und Dashboards kann eine Forschungsorganisation wie die Fraunhofer-Gesellschaft noch mehr beitragen zur zukünftigen Sicherheit, zeigt sich Professor Riedel überzeugt: »Durch unseren Einblick in die Spitzenforschung erkunden wir, welche Technologiethemen in einigen Jahren relevant werden, und sehen auch die entsprechenden Lücken in Industrieprojekten. Hier platzieren wir gezielt unsere Vorlaufforschung, wie beispielsweise Promotionsthemen. Das macht auch einen großen Teil der Innovationskraft und der Kreativität der Fraunhofer-Forschenden aus.«

Rätselhafte Plasma-Effekte und Radar über dem Horizont

Aktuell sind Hyperschallwaffen eine der großen, bisher ungelösten Fragen jeder Verteidigung. Hyperschall-Flugkörper bewegen sich mit Geschwindigkeiten ab Mach 5, also mehr als 1700 Metern pro Sekunde. Sie sind nicht nur schnell, sie können auch niedrig fliegen und sind extrem manövrierfähig. Bisher ist die Abwehr dieser Objekte sehr schwierig. Denn im Hyperschall ist eigentlich alles anders: Treibstoff, Flugfähigkeit, Materialien, Aerodynamik, Sensorik, Navigation, alles muss neu gedacht werden. So wird die Steuerelektronik sehr heiß, die Reibungshitze erreicht bis zu 3000 Grad Celsius. Das an der Oberfläche der Flugkörper entstehende Plasma beeinträchtigt zudem die Radarsignaturen. ►

Überlebensfrage:

Hyperschallwaffen stellen die Verteidigung bisher vor große Probleme. Prof. Daniel O'Hagan arbeitet an Konzepten, damit die Abwehr der tödlichen Flugobjekte gelingt.





Prof. Daniel O'Hagan hat Antworten, wie Verfolgung und Abwehr trotzdem gelingen können. Die Liste seiner Jobtitel und Aufgaben ist beeindruckend. Er hat in Radartechnologie promoviert, ist Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Chief Scientist und Koordinator für Hyperschalltechnologie des Fraunhofer VVS und »Chair of NATO TG SET 296 Radar Against Hypersonic Threats«. Mit der Bundeswehr hat er einen internationalen Workshop zum Thema gegründet. Sein Terminkalender war immer schon voll. Seit dem Ukraine-Krieg und dem Einsatz russischer Hyperschallwaffen ist er noch ein bisschen voller.

O'Hagan setzt seine Hoffnungen auf ein mehrschichtiges Multisensorsystem zur Abwehr von Hyperschallraketen, das Radarsensoren sowie elektro-optische und Infrarotkameras (EO/IR) miteinander vernetzt. Ein Schlüsselement der Frühwarnung ist das Skywave Over-the-Horizon Radar (OTHR). Durch den niedrigen Anflug tauchen Hyperschallwaffen erst spät über dem Horizont auf, wo sie für traditionelle Radare sichtbar werden. Bei der hohen Geschwindigkeit bleiben dann nur kurze Reaktionszeiten. Die Over-the-Horizon-Systeme machen sich zunutze, dass Radar bei Wellenlängen zwischen 3 und 30 Megahertz von der Ionosphäre reflektiert wird und durch die Spiegelung auch Gebiete jenseits des Horizontes »be-

leuchtet«. Indem die Systeme die reflektierten Wellen erfassen, können sie auch Flugobjekte detektieren, die eigentlich außerhalb des direkt beleuchteten Winkels fliegen. → **Siehe Projekt 1 | Seite 22**

»Kein System ist alleine imstande, alle Funktionen zu leisten, die für die Erkennung und Verfolgung von Hyperschallflugkörpern erforderlich sind«, warnt O'Hagan vor zu großen Erwartungen. »Ähnlich wie bei den Drohnen liegt der Schlüssel in der Kombination unterschiedlicher Techniken, beispielsweise im Zusammenspiel der Satellitenüberwachung mit verschiedenen boden- und luftgestützten Radarsystemen.«

Für die Fraunhofer-Forschenden sind die Technologien für Zivilschutz, kritische Infrastrukturen und Verteidigung nicht nur eine technische Herausforderung, sondern auch eine gesellschaftliche Aufgabe. Wie Christian Steffes sagt: »Wir müssen den Menschen in Deutschland und Europa wieder das Gefühl geben, dass wir auf Krisen schnell und wirksam reagieren. Dann verschwindet auch das Gefühl der Unsicherheit.«

Und wer dann mit dem Boot auf die Nordsee hinausfährt, tut das im beruhigenden Wissen, dass die Leitungen, Kabel und Pipelines auf dem Meeresboden gut geschützt sind.

Wenn's der Forschung dient:

Für die Fotografin Marina Rosa Weigl lassen sich Hans Peter Stuch und Daniel O'Hagan auch gerne mit unkonventionellen Motiven ablichten.



Die Verteidigung der Lufthoheit

Gefahr im Anflug? Ein innovatives Drohnenabwehrsystem unterstützt Sicherheitskräfte beim effektiven Schutz von Gebäuden, Veranstaltungen oder Personen.

Von Beate Strobel

Angela Merkel im Visier: Als sich 2013 eine etwa 40 Zentimeter große Drohne bei einer CDU-Wahlkampfveranstaltung in Dresden der damaligen Bundeskanzlerin näherte und kurz vor dem Rednerpult zu Boden stürzte, lächelte diese nur belustigt.

Tatsächlich war damals aber Schluss mit lustig. Was sich in Dresden als eine Protestaktion der Piratenpartei herausstellte, bezeichnet der Nachrichtentechniker Hans Peter Stuch heute als »die Mutter aller Drohnenabwehr-Szenarien in Deutschland«. Denn die Attacke, so der Forschungsgruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE, machte vielen Sicherheitsbehörden bewusst, dass man einer potenziellen Gefährdung durch Drohnen nicht viel entgegenzusetzen hatte. Gleichzeitig spielen die fliegenden Hightech-Objekte im zivilen und kommerziellen Bereich eine immer größere Rolle, etwa bei der Zustellung von Paketen, Arzneimitteln oder Lebensmitteln. Je voller es künftig wird im Luftraum, desto größer die Notwendigkeit, die »guten« von den »bösen« Drohnen unterscheiden zu können.

Aufbauend auf den Ergebnissen von vier Projekten unter Fraunhofer-Beteiligung wurde mit dem im Jahr 2023 gestarteten Leuchtturmprojekt IDAS-PRO des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR, vormals BMBF) ein Allrounder für die Drohnenbekämpfung entwickelt: Das innovative Drohnenabwehrsystem integriert mehrere unterschiedliche Radarsysteme, Funkpeiler, Remote-ID-Sensoren sowie miniaturisierte Kameras, um die Drohne punktgenau zu lokalisieren und deren Flugbahn prognostizieren zu können. Die Sensor-

daten werden in einer Fusion zusammengeführt und in einem Lagebild angezeigt; intelligente Algorithmen unterstützen die User dann mit passenden Handlungsoptionen. »IDAS-PRO schlägt in Echtzeit Gegenmaßnahmen vor«, erklärt Ingenieur Stuch. »Denn wenn sich eine Drohne mit einer Geschwindigkeit von 70 Stundenkilometern nähert, bleibt nicht viel Zeit für die Entscheidungsfindung der geeigneten Gegenmaßnahmen.«

Für die aktive Drohnenabwehr beinhaltet das System zwei Effektoren: Ein sogenannter Jammer wird automatisiert von der Lagedarstellung auf das Zielobjekt ausgerichtet. Seine Störsignale unterbrechen dann die Funkkommunikation zwischen Fernbedienung und Drohne. Das abzuwehrende Flugobjekt verharret als Folge auf der Stelle. Eine Fangdrohne sammelt dann – ebenfalls automatisiert – das Gerät mit einem Netz ein und bringt es an einen sicheren Ort. So kann die abgewehrte Drohne forensisch untersucht werden.

Das Projekt mit dem Fraunhofer FKIE im Co-Lead überzeugt nicht nur mit einem funktionsfähigen Demonstrator, sondern auch durch seinen Weg dahin: Mit dem Bundeskriminalamt, der Bundespolizei, dem LKA Bayern sowie der Polizei Baden-Württemberg, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz waren die künftigen Technologie-User von Beginn an intensiv eingebunden ins Forschungsgeschehen. Hans Peter Stuch: »Gemeinsam konnten wir so die speziellen Nutzeranforderungen identifizieren und Testszenarien entwickeln, die dicht dran sind an den realen Bedingungen.«

Da IDAS-PRO als universell nutzbares System gestaltet wurde, sieht Stuch auch

weitere Anwendergruppen und -szenarien: »Die Lösung ermöglicht einen flexiblen Einsatz, sie kann für den Schutz kritischer Infrastrukturen verwendet werden, für die Sicherung großer Veranstaltungen oder im militärischen Kontext.« Dank der anwendernahen Forschung sei der Weg des Technologie-Transfers in die Praxis besonders kurz: »Die ersten Komponenten von IDAS-PRO werden voraussichtlich Anfang 2026 mit Bestellnummer verfügbar sein.« ■



IDAS-PRO bei der Arbeit:
Mehr Infos zum innovativen Abwehrsystem



Hans Peter Stuch sorgt dafür, dass angreifende Drohnen ihren Zielort nicht erreichen können.

Das Schutzschild wächst

Gefahren erkennen, analysieren und abwehren, dieser Dreiklang bestimmt die Forschungsvorhaben der Fraunhofer-Institute. Zehn Projekte, die kritische Infrastrukturen und Zivilgesellschaft sichern.

1

Hyperschallwaffen abwehren

Mit vorhandener Technik sind sie kaum abzuwehren. Forschende des Fraunhofer-Leistungsbereichs VVS (Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit) arbeiten intensiv an mehrschichtig verbundenen Radaren sowie elektro-optischen und Infrarot-Kameras (EO/IR), um die Erkennung und Verfolgung von Hyperschallobjekten zu verbessern. Ein weiteres Problem: Je niedriger die Objekte fliegen, desto schneller sind sie aus der Horizontlinie verschwunden, die von einem Radarsystem beleuchtet wird. Abhilfe schaffen Over-the-Horizon-Systeme. Deren Radartechnik arbeitet mit Wellen zwischen 3 und 30 Megahertz. Diese werden ähnlich wie Kurzwele für Radioempfang von der Ionosphäre reflektiert und erfassen deshalb einen viel größeren Bereich.



<https://s.fhg.de/hyperschall>

2

Alarm bei Raketenstarts

Die frühzeitige Warnung vor einem Angriff mit ballistischen Raketen will das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB ermöglichen und nutzt hierfür elektro-optische Sensoren auf Satelliten. Im Auftrag des Verteidigungsministeriums entwickeln die Forschenden entsprechende Designkonzepte. Die Sensoren registrieren Infrarotsignale

des Raketenabgasstrahls und wandeln diese in elektronische Signale um. Bildverarbeitungsalgorithmen werten die Daten aus und liefern Abwehrsystemen genaue Zielinformationen. Die Technik könnte die bodengestützte Luftabwehr wirksam ergänzen. Ein Prototyp des Sensors wurde für den Forschungssatelliten ERNST entwickelt, der im August 2024 in den Weltraum gestartet ist. Der Kleinstsatellit des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI demonstriert die Machbarkeit der Raketendetektion aus dem Orbit.



<https://s.fhg.de/raketenwarnung>

3

Echtzeitlagebild Offshore

Von Seenot bis Spionageversuch: Im Projekt ELO (Echtzeitlagebild Offshore) visualisieren Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM maritime Notfallszenarien in der Deutschen Bucht. Die Fraunhofer-Expertinnen und -Experten nutzen für die Livelagebilder unter anderem Drohnen mit bis zu 3,60 Meter Spannweite, die sich je nach Mission mit diversen Sensoren bestücken lassen. Sie können bis zu sieben Stunden in der Luft bleiben und werden im Projekt für den anspruchsvollen Einsatz über dem Meer ertüchtigt.



<https://s.fhg.de/ELO>

4

Drohnen erkennen

Aktive Radarsysteme können wegen des entstehenden Elektroschmogs in Städten nur eingeschränkt genutzt werden. Am Passivradar arbeitet das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE. Diese Systeme werten Mobilfunkstrahlen aus, die von Flugobjekten reflektiert werden. Aus der Zeitdifferenz, der Dopplerverschiebung und dem Einfallswinkel zwischen den direkten Signalen der Mobilfunkbasisstation und den vom Flugobjekt reflektierten Signalen errechnet das System Daten wie Position, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit von Flugobjekten. Mobilfunk-Passivradar setzt dabei nicht nur auf frei zugängliche Mobilfunknetze, sondern zusätzlich auf LTE 450, einen Mobilfunkstandard, der für die sichere Kommunikation der Betreiber kritischer Infrastrukturen entwickelt wurde.



<https://s.fhg.de/passivradar>

5

Drohnen am Sound erkennen

Drohnen machen Lärm und verraten sich dadurch. Das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg forscht daran, anfliegende Drohnen durch leistungsstarke Mikrofonarrays und Audiosignalverarbeitung frühzeitig zu erkennen und das Gefahrenpotenzial einzuschätzen. Hinzu kommen Verfahren des

Maschinellen Lernens. Auf diese Weise lassen sich die Fluggeräte auch bei starkem Umgebungslärm identifizieren und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einleiten.



<https://s.fhg.de/drohnen-sound>

Drohnen abwehren

Wie kann man in dicht besiedelten Räumen Flugobjekte unschädlich machen, ohne Menschen zu gefährden? Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena nutzt dafür Laser mit einer Wellenlänge von zwei Mikrometern, die für das menschliche Auge weitgehend unschädlich ist. Das Forschenden-Team hat Glasfaser mit der Seltenen Erde Thulium versetzt, um diese Wellenlänge zu erzielen. Zudem haben die Forschenden ein Beugungsgitter entwickelt, das drei Laserstrahlen zu einem Strahl vereint. So konnte das Team die Leistung auf 1,91 Kilowatt erhöhen, fast doppelt so viel wie bei einem herkömmlichen System. Der Laser ist in der Lage, bei einer anfliegenden Drohne in einem Kilometer Entfernung die Steuerelektronik präzise zu treffen.



<https://s.fhg.de/hochleistungslaser>

Hybride Bedrohungen

Hybride Bedrohungen sind häufig so komplex, dass ihre zerstörerische Wirkung zu spät erkannt wird. Die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE entwickeln ein System, das Daten aus unterschiedlichen Quellen wie etwa Warn-

meldungen von Sicherheitssoftware, Bilder von Überwachungskameras oder Daten von Funkempfängern sammelt und auswertet. Hinzu kommen Beobachtungen in sozialen Netzwerken, wo möglicherweise Desinformationskampagnen gegen Betreiber kritischer Infrastrukturen gestartet wurden. Durch die Zusammenschau aller Daten werden Zusammenhänge zwischen Attacken aus verschiedenen Domänen sichtbar und als koordinierter Angriff erkennbar.



<https://s.fhg.de/cyberraum>

Training für Energieversorger

Die Fraunhofer Academy schult Energieversorger darin, Cyberattacken abzuwehren. Die Trainings, die von Expertinnen und Experten des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE betreut werden, konfrontieren die Teilnehmenden ähnlich wie bei einem Rollenspiel mit einer realistischen Umgebung, in der sie Alltagsaufgaben erledigen, bevor eine Attacke aus dem Web startet. Dabei spielen nicht nur technische Kenntnisse eine Rolle, sondern auch die Kommunikation zwischen den betroffenen Abteilungen und dem Management.



<https://s.fhg.de/cyberattacken>

Wie ist die Lage?

Wenn das Hochwasser kommt, das Stromnetz zusammenbricht oder eine Pandemie sich ausbreitet, müssen die Einsatzkräfte

schnell ein differenziertes Bild der Lage haben. Die dafür nötigen Informationen wie Wetterdaten, Straßenkarten, Bevölkerungsstruktur oder Hochwasserkarten sammelt das Projekt HERAKLION, analysiert diese und visualisiert sie auf einem Dashboard. Dann wissen Einsatzkräfte rechtzeitig, welche Straßen bei einer Flut überschwemmt sind, welche Brücken befahrbar oder welche Sammelplätze oder Turnhallen noch erreichbar sind. Bei diesem Projekt haben die Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI mit Rettungskräften und Einsatzplanern zusammengearbeitet.



<https://s.fhg.de/heraklion>

Riecher für Sprengstoff

Bei der Detektion von Sprengstoffen sind Spürhunde häufig besser als Messgeräte. Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT verfügt über umfassende Expertise bei Sprengstoffen und bietet wissenschaftlich fundierte Trainingsmöglichkeiten für die Hunde an, überwiegend Deutsche oder Belgische Schäferhunde. Dazu zählen Geruchsprobenstrecken zur Konditionierung auf neue Substanzen sowie realitätsnahe Szenarien wie Fahrzeug-, Gepäck- und Gebäudekontrollen. Die Expertinnen und Experten des Fraunhofer ICT können die Explosivstoffe selbst herstellen, und zwar ohne die gesetzlich vorgeschriebenen Marker, welche die Detektion erleichtern sollen, aber auch die Duftsignatur eines Explosivstoffs verändern. Die Trainingsmethoden ermöglichen Studien zum Riechvermögen der Hunde.



<https://s.fhg.de/sprengstoff>

Global vernetzt – global verwundbar


Täglich bekommen wir zu spüren, wie verletzlich der weltweite Handel ist. Unternehmen können sich schützen – dank KI. Die Nachfrage steigt.

Von Dr. Sonja Endres

Trumps Zolldrohungen, Terrorangriffe auf Containerschiffe im Roten Meer oder Kriege: Tag für Tag wird der globale Handel bedroht. Lieferketten sind fragil. Wie Unternehmen mithilfe von KI Störungen schnell erkennen und so Produktionsausfällen vorbeugen können, erforschen Dr.-Ing. Eduardo Colangelo und sein Team am

»Resilienz ist immer ein Gleichgewicht zwischen Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit.«

Dr.-Ing. Eduardo Colangelo,
Fraunhofer IPA



Sechs Tage blockierte die havarierte »Ever Given« im März 2021 den Suezkanal, ein stark frequentiertes Nadelöhr des Welthandels – mit katastrophalen Folgen.

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. Der Wirtschaftsingenieur aus Argentinien, der seit zwölf Jahren am Fraunhofer IPA Lösungen für die Industrie entwickelt, registrierte vor allem in den vergangenen Monaten eine steigende Nachfrage. Er ist überzeugt: »Es gibt eine Häufung an Krisen, die Unternehmen dazu bewegen, mehr in die eigene Widerstandskraft zu investieren.«

Resilienz, so erklärt er, müsse sorgfältig strategisch im Vorfeld aufgebaut werden. Wichtig sei vor allem die Analyse der individuellen Produktionsbedingungen: Welche Rohstoffe werden benötigt? Wie sind sie verfügbar? Welche Lieferanten und Transportwege gibt es? Existieren Alternativen? Mit diesen Informationen werden KI-Modelle gefüttert, die das Fraunhofer-IPA-Team im Forschungsprojekt PAIRS entwickelt hat. Sie erkennen Störungen auf Lieferwegen und haben gleichzeitig kritische Entwicklungen auf Rohstoffmärkten im Blick. Dafür werten sie unter anderem aktuelle Satellitenbilder des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus und Meldungen auf Nachrichtenportalen aus.

Vorbereitung ist alles

Die KI misst beispielsweise die Schiffsdichte im Seefrachtverkehr. Stauen sich vor einem Hafen oder in einer Passage die Frachter, gibt es vermutlich ein Problem. Eventuell musste der Hafen schließen oder ein Containerschiff ist havariert und blockiert die Weiterfahrt wie im Jahr 2021 die »Ever Given« im Suezkanal. Wenn die Störung für das Unternehmen bedrohlich ist, gibt die KI eine Warnung aus. Colangelos Kollegin Theresa-Franziska Hinrichsen betont: »Die Entscheidung darüber, ob Maßnahmen eingeleitet werden, liegt aber beim Menschen.« Kommt der zu dem Ergebnis, dass ein Einschreiten nicht erforderlich ist, fließt diese Information wieder in das KI-Modell ein. Colangelo ergänzt: »So lernt unsere KI kontinuierlich dazu und wird immer besser darin, die Relevanz bestimmter Ereignisse für die jeweilige Firma zu bewerten.«

Zurzeit arbeitet das Forschungsteam zusätzlich an Simulationsmodellen auf Basis individueller Unternehmensdaten. Natürlich gebe es viele denkbare Szenarien, die eine Gefahr für die Produktion darstellen, so Colangelo, aber nicht auf alle müsse man auch vorbereitet sein. »Das würde nur die Kosten unnötig in die Höhe treiben. Wir simulieren nur die, die wahrscheinlich und kritisch sind. Resilienz ist immer ein Gleichgewicht zwischen Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit.«

Die KI-Modelle aus dem Fraunhofer IPA könnten nicht nur die industrielle Resilienz stärken, sondern auch den Katastrophenschutz. In Kooperation mit dem Technischen Hilfswerk will das Forschungsteam mithilfe von Szenario-Analysen hohe Risiken identifizieren, damit hier zielgerichtet Investitionsentscheidungen getroffen werden können. Hinrichsen: »Für das Trainieren der KI-Modelle brauchen wir allerdings erst einmal entsprechende Daten. Doch die liegen leider im Unterscheid zur Industrie kaum strukturiert vor.« Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben daher zunächst ein Tool entwickelt, das die Erfassung relevanter Daten im Katastrophenfall erleichtert. Damit lassen sich beispielsweise die Bestände in Einsatzlagern einfach überwachen und eine smarte Materialbedarfsplanung durchführen. Hinrichsen: »Der Aufwand ist minimal, der Nutzen enorm.« Neben Einsatzdaten sind beispielsweise auch meteorologische Daten, Informationen über die Verfügbarkeit und Reichweite von Kommunikationsnetzen, Infrastrukturdaten oder historische Daten über Katastrophen für die Planung von Hilfs- und Schutzmaßnahmen wertvoll und können wichtige Fragen beantworten wie: Wie haben sich eine Wetterlage und die Schnelligkeit, mit der die Flusspegel gestiegen sind, auf eine Flutkatastrophe ausgewirkt? Wie hat sich eine Krisensituation verändert, wenn bestimmte Faktoren aufeinandergetroffen sind? Hinrichsen: »Die Daten sind ein Schatz, der noch gehoben werden muss. Dann kann KI im Katastrophenschutz sehr helfen.« Und wir können aus vergangenen Krisen lernen. ■

Foto: Maxar Technologies/AP/dpa

Stimme aus der Wirtschaft



Stefan Oelrich ist Mitglied des Vorstands der Bayer AG, Leiter der Division Pharmaceuticals und seit dem 26. Juni 2025 Präsident der European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations.

Europas Pharmaindustrie am Scheideweg

Eine Reform der Pharmagesetzgebung könnte die Medikamentenversorgung sicherer machen und die Wettbewerbsfähigkeit Europas stärken.

Ein Standpunkt von Stefan Oelrich, Präsident der European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA)

Als ich vor 30 Jahren meine Karriere begann, stammte jedes zweite neue Medikament aus Europa. Heute ist es nur noch jedes fünfte.

In den letzten zwei Jahrzehnten ist der Anteil Europas an den weltweiten Investitionen in pharmazeutische Forschung und Entwicklung um ein Viertel zurückgegangen – vor allem zugunsten der USA und Chinas.

In einer Zeit wegweisender Innovationen und eines starken globalen Wettbewerbs um Spitzenforschung stellt sich nicht die Frage, ob die Medizin Fortschritte machen wird, sondern wo. Wollen wir eine Europäische Union, die von den Innovationen anderer Weltregionen abhängig ist? Oder eine EU, die Innovationen in ihrer Bedeutung anerkennt und entsprechend honoriert? Letzteres würde Patientinnen und Patienten zugutekommen, für Investitionen sorgen, Arbeitsplätze schaffen und das Wirtschaftswachstum ankurbeln.

Europa muss seine Wettbewerbsfähigkeit stärken und Herausforderungen im Gesundheitssektor adressieren. Entwicklungen in den Bereichen Souveränität, nationale Sicherheit und Resilienz der Lieferketten geben großen Anlass zur Sorge. Handelskonflikte schaffen ein Klima der Unsicherheit und veranlassen europäische Pharmaunternehmen dazu, massive Investitionen in den USA anzukündigen.

Darin liegt jedoch eine Chance. Mit dem größten Beitrag zum EU-Handelsüberschuss und 900 000 Arbeitsplätzen in Europa wird die Pharmaindustrie endlich von der Politik als strategische Schlüsselbranche wahrgenommen. Wir müssen diesen Worten nun Taten folgen lassen. Die nächste Gelegenheit dazu bietet die Überarbeitung der allgemeinen Arzneimittelgesetzgebung (General Pharmaceutical Legislation, GPL).

Wir brauchen ein Europa, das attraktiv ist für Innovatoren und Investoren. Das Gesetzgebungsverfahren für die GPL, das die Entwicklung, Zulassung und Bereitstellung von Arzneimitteln in Europa auf Jahrzehnte bestimmen wird, befindet sich auf der Zielgeraden. Obwohl geistiges Eigentum auf erstklassigen, kalkulierbaren Schutz angewiesen ist, sehen die Vorschläge eine Lockerung der derzeit geltenden Datenschutzvorschriften vor.

Bei Bayer werden Entscheidungen über Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsstandorte anhand des Zusammenspiels verschiedener Faktoren getroffen, um optimale

»Europa tut sich schwer damit, aus Durchbrüchen in der Forschung marktfähige Produkte zu entwickeln.«

Stefan Oelrich

► vertritt seit Juni 2025 als Präsident der European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA) die in Europa tätige biopharmazeutische Industrie.

► ist seit 1. November 2018 Mitglied des Vorstands der Bayer AG und Leiter der Division Pharmaceuticals.

► leitete sieben Jahre beim Pharma- und Gesundheitsunternehmen Sanofi Organisationseinheiten in Deutschland, der Schweiz und Österreich. Anschließend baute er das Diabetes- und Herz-Kreislauf-Geschäft von Sanofi auf. 2016 wurde Stefan Oelrich zum Executive Vice President Diabetes & Cardiovascular und Mitglied des Executive Committee von Sanofi ernannt.

► trat 1989 in die Bayer AG ein und übernahm dort Führungspositionen von zunehmend strategischer Bedeutung in Lateinamerika (Argentinien, Uruguay), Europa (Frankreich, Belgien) und in den Vereinigten Staaten.

► wurde am 1. Juni 1968 in Wilhelmshaven geboren. Nach dem Abitur begann er eine Ausbildung zum Wirtschaftsassistenten bei der Bayer AG und legte 1992 seine Prüfung zum staatlich geprüften Wirtschaftsassistenten ab.

Bedingungen für die Bereitstellung neuer Medikamente zu schaffen. Es ist zwingend erforderlich, dass Europa im Rahmen der GPL-Gesetzgebung sein geistiges Eigentum stärkt, um im Wettbewerb zu bestehen.

Wir brauchen ein Europa, das den Transfer von Ideen in Anwendungen beschleunigt.

Europa verfügt über weltweit angesehene Hochschulen und hoch qualifizierte Fachkräfte. Es tut sich jedoch schwer damit, aus Durchbrüchen in der Forschung marktfähige Produkte zu entwickeln. Abhilfe schaffen könnte die Förderung sogenannter Life Science Hubs (wie in San Francisco oder Boston), in denen sich öffentliche wie private Akteure entfalten können. Wichtig ist zudem, dass wir unsere Start-ups stärken, damit sich diese nicht im Ausland nach Investoren umschauchen müssen oder aufgeben, bevor sie etwas bewirken. Wenn Europa im Bereich der innovativen Medizin eine treibende Kraft bleiben will, müssen wir in allen Entwicklungsstadien bessere Finanzierungsmöglichkeiten schaffen.

Wir brauchen ein Europa, in dem die Menschen schnell und gleichberechtigt Zugang zu Arzneimitteln erhalten.

Es ist nicht hinnehmbar, dass kaum die Hälfte aller zugelassenen innovativen Arzneimittel innerhalb der EU erhältlich ist. Und dass es von der Zulassung bis zur Markteinführung im Schnitt 578 Tage dauert. Wirtschaft, europäische Institutionen und Mitgliedsstaaten sollten sich umgehend zusammensetzen, um harmonisierte EU-Mechanismen und nationale Zugangsstrategien zu schaffen, bei denen Innovationen in ihrer Bedeutung anerkannt und honoriert werden sowie sichergestellt ist, dass Medikamente für alle Menschen in Europa zugänglich sind.

Wir brauchen ein Europa, das Gesundheitsausgaben als das anerkennt, was sie sind: Investitionen in unsere gemeinsame Zukunft.

Die Gesundheitsbranche trägt zur Steigerung der Lebenserwartung und -qualität bei und fördert Wohlstand, Resilienz und Sicherheit. Doch in Europa sehen Politik und Gesellschaft in der Entwicklung innovativer Arzneimittel oft nur Kosten und keine Investitionen in Gesundheit und Wirtschaft. Diese Haltung muss sich ändern. Nur so können wir unsere Position bei der Erforschung, Entwicklung und Produktion von Arzneimitteln behaupten. Ich bin zuversichtlich, dass Europa dies gelingen wird. ■

Weniger ist mehr: Lösungen für Rohstoffengpässe

Paradigmenwechsel in der Werkstoffforschung: Ein Fraunhofer-Leitprojekt will mithilfe von KI und innovativen Recyclingmethoden die Materialversorgung krisenfest und zugleich nachhaltig gestalten.

Von Kathrin Schwarze-Reiter

Die Not beginnt schleichend. Ein Automobilhersteller verschiebt die Auslieferung neuer E-Modelle. Ein Windkraftpark bleibt unvollendet. Eine Wasserstofffabrik kann nicht in Betrieb gehen. Der Grund: Es fehlt an essenziellen Rohstoffen – Nickel, Kobalt, Seltene Erden. Materialien, die so begehrt wie unverzichtbar sind. Noch sind die Auswirkungen nur punktuell spürbar. Doch die Energiewende und der technologische Fortschritt treiben den Bedarf an Rohstoffen in die Höhe.

Die Weltwirtschaft ist eine präzise abgestimmte Maschinerie. Jahrzehntlang konnte man sich bei ihr auf den Materialnachschub verlassen. Doch in der letzten Zeit gerät der Rohstofffluss immer wieder ins Stocken. Kriege, Krisen, Handelsbeschränkungen durch Trump & Co. – sie alle zeigen, dass die Lieferketten auf wackeligen Beinen stehen. »Die bisherigen Wertschöpfungsketten sind hochoptimiert, aber dadurch auch extrem störanfällig«, erklärt Dr.-Ing. Dirk Helm vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM. »Ein unerwartetes Ereignis wie eine Pandemie oder ein geopolitischer Konflikt kann ganze Industriezweige ins Wanken bringen.«

Besonders problematisch ist das bei raren Rohstoffen wie Seltenen Erden für Elektromotoren oder Nickel für Bipolarplatten

aus Edelstahl für Brennstoffzellen – sie sind endlich und international heiß begehrt. Zwar werden immer wieder neue Minen gefunden, oft liegen diese jedoch in politisch instabilen Regionen. Die Mineralien müssen in immer größeren Tiefen abgebaut werden. Aus dieser Notlage heraus setzt die Industrie zunehmend auf Recycling. Doch: Recyclingstoffströme und gebrauchte Materialien sind oft verunreinigt, mit Lacken, Kunststoffen oder Fremdmetallen versetzt. Die Reinigung ist technisch aufwendig und daher auch teuer. Wie kann man zudem sicherstellen, dass recycelte Metalle genauso sicher und leistungsfähig sind wie »frische« aus Rohmaterial?

Geballte Fraunhofer-Power für sichere Rohstoffe

Genau hier setzt das Fraunhofer-Leitprojekt ORCHESTER an. Sechs Fraunhofer-Institute arbeiten vier Jahre lang daran, die Materialversorgung widerstandsfähiger zu machen. Das Ziel ist nicht weniger als ein radikaler Wandel in der Werkstoffforschung. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz, digitalen Modellen und innovativen Recyclingmethoden will ORCHESTER die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen verringern und neue Materiallösungen ermöglichen. Eine digitale Plattform soll



»Wir denken das gesamte System neu – vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt.«

Dr. Jörg Kaspar, Fraunhofer IWS

Unternehmen in Zukunft helfen, alternative Werkstoffe zu finden – zum Beispiel Stahl mit weniger Nickel, ohne Einbußen bei der Qualität. Noch steckt das Projekt – ein Jahr nach dem Start – in der Anfangsphase, doch die Richtung ist klar: Die Materialversorgung der Zukunft soll nachhaltiger, flexibler und krisensicher sein.

Die beteiligten Fraunhofer-Institute bündeln hierfür ihre Expertise: Das Fraunhofer IWM koordiniert das Projekt und entwickelt neue Materialdesign-Strategien. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS forscht an innovativen Legierungen. Am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI werden wirtschaftliche und geopolitische Aspekte der Rohstoffversorgung betrachtet, während das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU neue beziehungsweise adaptive Fer-



Die Metalle Lanthan, Yttrium, Cer, Neodym, Europium und Samarium zählen zu den Seltenen Erden.

tigungsprozesse für recycelte Materialien entwickelt. Die Fraunhofer-Einrichtung für Werkstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS optimiert Recyclingmethoden für kritische Rohstoffe und das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP arbeitet schlussendlich an Sensortechnologien zur Qualitätssicherung von Sekundärrohstoffen.

Ein Paradigmenwechsel in der Materialforschung

Das Besondere an ORCHESTER ist die neue Art, Materialien zu spezifizieren. Bisher werden Werkstoffe hauptsächlich über ihre chemische Zusammensetzung definiert. Das bedeutet: Fehlt ein Rohstoff, kann das Produkt nicht hergestellt werden. ORCHESTER dreht diesen Ansatz um. »Wir fokussieren uns darauf, welche Funktion ein Material erfüllen soll, und suchen dann nach Alternativen, die diese Funktion übernehmen können«, erklärt Dr. Jörg Kaspar vom Fraunhofer IWS. Bipolarplatten in Brennstoffzellen und Elektrolyseuren enthalten zum Beispiel viel von dem kritischen Rohstoff Nickel. ORCHESTER erforscht, wie sich der Nickelanteil reduzieren lässt, ohne die Werkstoff- und Bauteilperformance zu beeinträchtigen. Eine Kombination aus Ex-

perimenten, Computersimulationen und Hochgeschwindigkeitstests ermöglicht es, schnell geeignete Alternativmaterialien zu finden.

Ein weiteres großes Ziel des Leitprojekts ist es, auf dem lokalen Markt verfügbare Materialien durch Recyceln ein »zweites Leben« einzuhauchen und gleichzeitig die damit einhergehenden Qualitätsschwankungen zu adressieren. Die Fraunhofer-Institute entwickeln Methoden, um Verunreinigungen zu analysieren und die Materialzusammensetzungen anzupassen. Bei der Wiederverwertung von Aluminiumlegierungen für Verdichterräder in der Wasserstoffinfrastruktur und in Wärmepumpen versucht ORCHESTER beispielsweise, den Sekundäranteil – also den Recyclinganteil – auf ein Maximum zu erhöhen, ohne dass die Qualität darunter leidet. Kaspar: »Wir nutzen simulationsgestützte Screening-Methoden, um Legierungsvarianten zu testen, die dann auch von der Industrie einsetzbar sind.«

Besonders spannend ist die Wiederverwertung von Permanentmagneten, die in Elektromotoren und Windkraftanlagen zum Einsatz kommen. Sie enthalten Seltene Erden, die teuer und schwer abbaubar sind: Neodym, Praseodym, Terbium und Samarium. Zu einem Großteil kommen die chemischen Elemente aus China – das Land

ist nicht immer ein verlässlicher Handelspartner. Bislang sind recycelte Magnete zudem oft weniger leistungsfähig als neue. ORCHESTER nutzt Künstliche Intelligenz und Simulationsmodelle, um zu verstehen, wie sich Verunreinigungen auf die magnetische Performance auswirken und welche Materialmischungen trotzdem funktionieren. »Unser Ziel ist, den Einsatz Seltener Erden aus primären Quellen um mindestens 25 Prozent zu reduzieren«, betont Helm. Das würde nicht nur die Umwelt schonen, sondern auch Europa unabhängiger von Rohstoffimporten machen.

Die digitale Materialzukunft

Neben neuen Materiallösungen schafft ORCHESTER eine digitale Plattform, die Daten über Materialeigenschaften, Herstellungsprozesse und Recyclingverfahren miteinander verknüpft. Unternehmen können darauf zugreifen und erhalten datenbasierte Empfehlungen für nachhaltige Werkstoffe. »Wir denken das gesamte System neu – vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt«, fasst Kaspar zusammen. Die digitalen Modelle berücksichtigen bereits in der Designphase eines Produkts die Materialfrage – und schlagen Alternativen vor, falls ein Rohstoff knapp wird. Zusätzlich kommen High-Speed-Materialtests zum Einsatz, sogenannte High-Throughput-Screening-Methoden, mit denen neue Materialmischungen schnell und effizient geprüft werden können. So soll die Auswahl an einsetzbaren Werkstoffen vervielfacht, der Recyclinganteil in Prozessrouten um mindestens 50 Prozent gesteigert und die Materialresilienz um 30 Prozent erhöht werden.

Durch die enge Zusammenarbeit mit Industrie, Politik und Forschung will das Projekt langfristig dazu beitragen, dass Materialknappheit keine Bremse für Innovationen mehr ist. Helm: »Wir wollen eine robuste, nachhaltige und unabhängige Materialversorgung gewährleisten – nicht nur für heute, sondern für die kommenden Jahrzehnte.« ■

Einen Riecher für Whisky

Fraunhofer-Forschende haben einen KI-Algorithmus entwickelt, der schottischen Whisky von amerikanischem Whiskey unterscheiden kann. Doch den Wissenschaftlern geht es um sehr viel mehr als Spirituosen.

Von Beate Strobel

Mehr als nur
Geschmack:
Der Duft eines
Whiskys – seine
»Nase« – verrät
Kennern viel
über Herkunft,
Alter und
Herstellung.

Der bislang teuerste Whisky stammt aus einer schottischen Destillerie: 2023 wurde bei Sotheby's eine Flasche »The Macallan 1926 Adam« versteigert, sie erzielte die süffige Summe von knapp 2,5 Millionen Euro. Aber auch unterhalb dieses Rekords bezahlen Genießer wie Sammler Höchstpreise für Whisky-Raritäten. Kein Wunder also, dass die Spirituose oftmals als »flüssiges Gold« bezeichnet wird.

Aber ist tatsächlich Schottland drin, wo »Scotch« draufsteht? Profi-Verkoster sind weitestgehend in der Lage, anhand des Geruchs einen schottischen von einem amerikanischen Whiskey zu unterscheiden: Während Bourbon eher Vanille- und Karamellnoten mit sich bringt, erfreut Scotch den Kenner häufig durch ein rauchig-torfiges oder auch holziges Bouquet. Die Testung durch solche Whiskey-Meister oder zumindest durch ein entsprechend geschultes Panel sei allerdings extrem personen- sowie zeitintensiv und dadurch teuer, erklärt Dr. Andreas Grasskamp. Am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV im oberbayerischen Freising entwickelte der Neurowissenschaftler mit einem Team aus Expertinnen und Experten deshalb neue Technologien für den Bereich der analytischen Sensorik im Rahmen des »Campus der Sinne«, einem vom bayerischen Wirtschaftsministerium geförderten Projekt des Fraunhofer IVV und des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS.

Einer Künstlichen Intelligenz das Riechen beibringen: Genau das ist dem Forschungsteam um Andreas Grasskamp gelungen. Denn der Geruch eines Getränks entsteht durch flüchtige Moleküle, die aus der Flüssigkeit in die Luft und in die Nase gelangen. Diese Moleküle lassen sich einzeln benennen durch den Einsatz geeigneter analytischer Verfahren. »Die Gaschromatographie-Massenspektrometrie, kurz GC-MS, ist ein etabliertes Verfahren zur Analyse flüchtiger Verbindungen«, erklärt Grasskamp. »Wir können damit geruchsaktive Moleküle detektieren und identifizieren sowie die Proben parallel durch speziell geschulte Personen sensorisch charakterisieren.«

Mehr Sinnlichkeit für Maschinen

Sehr viel herausfordernder ist allerdings die Tatsache, dass der olfaktorische Gesamteindruck in der Regel sehr viel mehr ist als die Summe der Einzelteile. Die Gasmoleküle können sich gegenseitig ergänzen und kontrastieren. Und auch die Art des Mediums, in dem sie sich befinden – etwa Luft, Wasser oder Öl –, beeinflusst das Aromaprofil.

Untrainierte Nasen müssen beim Whisky schnell passen angesichts der schier unendlichen Vielfalt der aromatischen Wechselwirkungen. Die Forschenden setzten stattdessen den am Fraunhofer IVV entwickelten KI-Algorithmus OWSum (»Olfactory Weighted Sum«) darauf an, die Herkunft von Whiskyp Proben – schottisch oder

amerikanisch – zu ermitteln. Parallel dazu verwendeten sie ein künstliches neuronales Netzwerk (CNN), um die olfaktorische Qualität der Whiskyp Proben zu bewerten.


Das Ergebnis überzeugte: »Unsere digitale Lösung konnte die wichtigsten Geruchseindrücke mindestens so zuverlässig vorhersagen wie ein durchschnittlich guter menschlicher Tester«, bilanziert Grasskamp. Zudem gelang OWSum die Unterscheidung zwischen amerikanischem Whiskey und schottischem Whisky mit einer Genauigkeit von mehr als 90 Prozent. Aber auch die Vorhersage der wichtigsten Geruchsbeschreibungen von Whisky allein auf Basis von Moleküllisten gelang mit OWSum und CNN mindestens so gut wie mithilfe eines Profi-Panels.

Kluges Blending für Recyclingprodukte

Und nun? Zum einen kann das KI-Tool künftig Brenneien bei der Produktentwicklung und Qualitätskontrolle dabei unterstützen, mögliche Etikettenschwindel aufzudecken. Zum anderen kann die Technologie für andere Getränke oder Lebensmittel angepasst oder weiterentwickelt werden.

Als weiteres Ziel haben die Fraunhofer-Forschenden allerdings ein sehr viel umfassenderes Anwendungsgebiet. »Unser Whisky-Projekt hat weltweit für großes Interesse gesorgt, sollte aber in erster Linie zeigen, was die Technologie tatsächlich kann: Gerüche zuverlässig und schnell beurteilen«, sagt Grasskamp. »Tatsächlich geht es uns nicht allein um Whisky, sondern ganz nüchtern um alle möglichen Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände.« Entsprechend einer neuen EU-Regelung muss beispielsweise künftig der Anteil von wiederaufbereiteten Kunststoffen in Produkten steigen. Doch wer schon einmal seine Nase in den Gelben Sack gesteckt hat, der weiß: Gebrauchter Kunststoff riecht tendenziell unangenehm. Gerade bei qualitativ hochwertigen Kunststoffprodukten wie Verpackungen ist das nicht zu tolerieren. Grasskamp: »Unsere hauseigene Datenbank besteht aus einer Vielzahl geruchsaktiver Moleküle. Damit und mit entsprechenden Proben können wir eine KI so trainieren, dass sich mit deren Hilfe perspektivisch beispielsweise gezielt Rezyklat-Mischungen entwickeln lassen, die nicht unangenehm riechen.«

Ein zweites Einsatzfeld sieht Grasskamp in der effizienten Kontaminationsanalyse etwa von importierten Kunststoffprodukten: Weisen flüchtige Moleküle darauf hin, dass darin ökologisch oder medizinisch kritische Stoffe enthalten sind? Anders als beim Whisky überlässt der Mensch diesen Job gerne der Maschine: »Zum einen ist die menschliche Nase für eine perfekte Detektion nicht ausreichend sensibel, zum anderen sind viele gefährliche Inhalte gar nicht geruchsaktiv«, erklärt Grasskamp. Ein entsprechend trainierter Algorithmus könnte aber frühzeitig warnen – und so zu einer höheren Produktqualität und -sicherheit führen. ■



Wer steckt wirklich hinter der Stimme? Die Betrugsversuche mittels KI-generierter Audioclips nehmen zu – und sind immer schwerer als Fake erkennbar.

Bei Anruf: Fake!

Wenige Sekunden einer Sprachaufnahme reichen heute aus, um eine Stimme zu klonen und sie alles sagen zu lassen, was man will. Der rasante Fortschritt von Voice-Cloning-Technologien dürfte gravierende Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft haben. Die wichtigsten Gegenmittel: Aufklärung, ein geschultes Gehör und noch besser trainierte Erkennungssysteme.

Von Mandy Bartel

Ein Audioclip, in dem der britische Premier Keir Starmer auf der Plattform X angeblich gestand, seine Wählerschaft zu hintergehen, wurde 1,4 Millionen Mal aufgerufen. Das Unternehmen Ferrari entging im letzten Sommer nur knapp einem Deepfake-Betrug. Denn ein umsichtiger Manager reagierte klug auf einen verdächtigen Anruf des täuschend echt klingenden Unternehmenschefs: Er stellte eine Frage, deren Antwort nur der reale Chef wissen konnte.

Fälle von Desinformation, Trickbetrug oder Industriespionage durch gefälschte Stimmen nehmen weltweit zu. Alle fünf Minuten soll es 2024 laut dem Identity Fraud Report des Entrust Cybersecurity Institute einen Deepfake-Betrugsversuch gegeben haben. Der Sicherheitsanbieter Signicat registrierte innerhalb von drei Jahren ein Plus von 2137 Prozent solcher Angriffe auf europäische Banken, Versicherungen und Zahlungsspezialisten. Gleichzeitig gehen mit den neuen Möglichkeiten KI-generierter Sprache nicht nur Risiken einher, sondern auch Chancen: sei es die Rekonstruktion der Stimme sprachbehinderter Menschen, neue Entwicklungen in der Synchronisierung von Filmen oder gar die digitale Bewahrung von Stimmen verstorbener Menschen.

Fest steht: Deepfake-Technologien werden unsere mediale Realität zunehmend verändern. Das konstatiert die Studie »Deepfakes und manipulierte Realitäten« des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI. Die Empfehlungen der Autorinnen und Autoren: Neben staatlichen Bemühungen zur Plattformregulierung muss die Selbstverantwortung jedes und jeder Einzelnen durch entsprechende Bildungsangebote verbessert

werden. Medien können mit hohen journalistischen Standards zur besseren Erkennung und Aufklärung der Bevölkerung beitragen. Zudem sollten sich Unternehmen und Organisationen durch interne Risikoabschätzungen sowie präventive und reaktive Maßnahmen auf die zunehmende Verbreitung von Deepfakes vorbereiten.

Mensch vs. KI: Wer erkennt Fälschungen besser?

Im Gegensatz zur noch recht aufwendigen Erstellung von Deepfake-Videos lassen sich Audioinhalte mit hoher Qualität schon mit vergleichsweise geringem Aufwand manipulieren. Gleichzeitig sind sie schwerer zu identifizieren, weil visuelle Hinweise fehlen. Wie gut sind Menschen darin, solche manipulierten Audiospuren zu erkennen? Das hat Dr. Nicolas Müller vom Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AI-SEC in einem Experiment untersucht. Er ließ 472 Teilnehmende in einem Spiel gegen einen KI-Algorithmus antreten, um zwischen echten und gefälschten Audioproben zu unterscheiden. Sowohl die Menschen als auch die KI hörten jeweils eine Audiospur und mussten entscheiden, ob es sich um eine echte Stimme oder ein Deepfake handelte.

Die Bilanz nach fast 15 000 angehörten Dateien: »Der Mensch erkennt ungeübt etwa zwei Drittel der Fälschungen, kann sich mit etwas Übung aber bis auf 80 Prozent hocharbeiten«, so der Forscher. »Die Erfolgsquote der KI liegt – immer abhängig vom Schwierigkeitsgrad – bei weit über 95 Prozent.« Doch das Spiel lieferte noch weitere wertvolle Befunde: So lassen sich ältere Personen häufiger von Deepfakes ►



täuschen als jüngere. Muttersprachler zeigen deutliche Vorteile gegenüber Nicht-Muttersprachlern, IT-Profis gegenüber Laien jedoch nicht. »Diese Erkenntnisse können bei der Entwicklung effektiverer Trainingsprogramme für Cybersicherheit und bei der Verbesserung von Erkennungsalgorithmen hilfreich sein«, erklärt Müller. Weil Übung ein so wichtiger Faktor für das Erkennen KI-generierter Audiofakes ist, haben er und sein Team das interaktive Spiel »Spot the Deepfake« auf ihrer Plattform Deepfake Total (siehe QR-Code) veröffentlicht und somit für jeden zugänglich gemacht.

Audiofake-Erkennung: Vielfalt gewinnt

Die Plattform Deepfake Total entwickelte Nicolas Müller mit seinem Team als öffentliches Erkennungstool für Audiofakes. Jeder kann dort verdächtige Audiospuren hochladen und von einer KI analysieren lassen. Im Gegensatz zu anderen kommerziellen Erkennungstools auf dem Markt ist die Fraunhofer-Plattform kostenlos – und in Deutschland gehostet. Ihr KI-Modell trainieren die Forschenden sowohl mit öffentlichen als auch selbst erstellten Datensätzen, die Beispiele originaler und gefälschter Audiospuren enthalten. Von der Qualität dieser Trainingsdaten hängt die Zuverlässigkeit der Erkennung ab. Dabei geht es nicht nur darum, möglichst viele Daten zusammenzutragen, sondern sie auch clever zu kombinieren und ausgewogen aufzubereiten, damit es keine unerwünschten Lerneffekte gibt. »Das einzige Unterscheidungsmerkmal in einem guten Trainingsdatensatz soll sein, ob die Audiospur echt oder falsch ist«, erklärt Müller. »Es gilt also zu vermeiden, dass die KI lernt, dass etwa Männer häufiger als Frauenstimmen gefälscht sind, oder Datensätze anhand von Hintergrundgeräuschen, Akzent, Länge oder Lautstärke unterscheidet.« Weil die Daten aus so unterschiedlichen Quellen stammen, ist das nicht so einfach. »Man muss verstehen, welche einzelnen Informationen diese Audiospuren enthalten und sie dann so arrangieren, dass die nicht relevanten Eigenschaften

möglichst ausgewogen sind. Während sich bei Videos heute schon gut analysieren lässt, anhand welchen Bildteils die KI unterscheidet, ist das bei Audio noch etwas schwieriger.«

Einen solchen Datensatz entwickeln die Forschenden am Fraunhofer AISEC mit dem Multi-Language Audio Anti-Spoofing Dataset (MLAAD) kontinuierlich weiter. Er ist Trainingsgrundlage für ihr KI-Erkennungsmodell, steht aber auch der Forschungsgemeinschaft

öffentlich zur Verfügung. Die Herausforderung: Es gibt eine Vielzahl an Text-to-Speech-Systemen, um Audiospuren zu manipulieren, die jeweils ganz eigene Charakteristika haben. Während die einen gut darin sind, emotionale Sprache zu erzeugen, stellen andere eine nahezu perfekte stimmliche Ähnlichkeit zur Zielperson her. Um möglichst viele solcher Eigenheiten abzudecken, umfasst der MLAAD-Datensatz derzeit über 90 verschiedene dieser Systeme und wird ständig um die neuesten erweitert. So erreicht das Tool auch bei noch

»Dem aufkommenden Deepfake-Zeitalter werden wir nur mit einer Kombination aus besserer technischer Erkennung, Aufklärung sowie einem gestärkten Bewusstsein in der Gesamtbevölkerung entgegenzutreten können.«

Dr. Nicolas Müller,
Fraunhofer AISEC

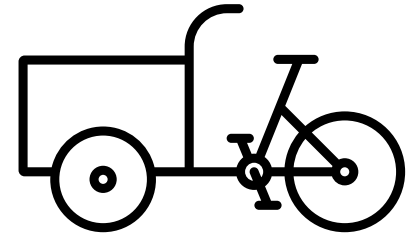
unbekannten Audio-Deepfakes hohe Erkennungsraten. Neben der technologischen Vielfalt bietet der Datensatz mit mehr als 35 Sprachen auch die bislang größte sprachliche Bandbreite im Vergleich zu derzeit öffentlich verfügbaren Datensätzen, von denen die meisten nur englische oder chinesische Audiospuren beinhalten.

Nicht nur bei den Trainingsdaten für KI-Erkennungstools sind Vielfalt und Ausgewogenheit der Schlüssel zum Erfolg, sondern auch im Kampf gegen die negativen Folgen von Audiofakes. »Dem aufkommenden Deepfake-Zeitalter werden wir nur mit einer Kombination aus besserer technischer Erkennung, Aufklärung sowie einem gestärkten Bewusstsein in der Gesamtbevölkerung entgegenzutreten können«, ist Nicolas Müller überzeugt. ■



Audiofakes gratis erkennen
mithilfe der Plattform
Deepfake Total – inklusive
Trainingsspiel.

Vorfahrt für die Radlogistik



Lastenrad statt Lieferwagen: Im Projekt RADLÄR wird ausgelotet, wie Cargobikes als emissionsfreie Transportlösung im ländlichen Raum an Fahrt gewinnen können.

Von Beate Strobel

Um Hofstetten im Kinzigtal in seiner ganzen Größe bewundern zu können, müssen zwei Tische zusammengeschoben werden: Die Landkarte der 2000-Seelen-Gemeinde im Mittleren Schwarzwald zeigt nicht nur Straßen und Wege, sondern auch das Industriegebiet am Ortsrand, das Fußballfeld des Sportclubs Hofstetten e.V., die Wanderwege zur Grabkapelle Hansjakob sowie mehrere benachbarte Weiler. Drumherum: viel Wiese und noch mehr Wald. »Hofstetten ... dem Himmel ein Stück näher« heißt es auf der Webseite des Dorfes. Oder wie Bürgermeister Martin Aßmuth es ausdrückt: »Hofstetten ist tiefster ländlicher Raum.«

Genau deswegen steht der Mathematiker und Wirtschaftswissenschaftler Sascha Düerkop vom Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT jetzt im Sitzungssaal des Hofstettener Rathauses und erklärt – gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Hochschule Fulda sowie der Frankfurt University of Applied Sciences – die Bedeutung von Orten wie Hofstetten für die Mobilitätswende. Denn das Dorf ist eine von sechs Modellregionen in Deutschland, anhand derer im Projekt RADLÄR (RADlogistik im Ländlichen Raum) in ganztägigen Workshops die Potenziale und Hemmnisse der Radlogistik in nicht-urbanen Gebieten eruiert werden sollen: Welche Möglichkeiten für den Einsatz von Cargobikes & Co. sind für die Menschen »auf dem Land« denkbar? Und was kann getan werden, damit Lastenräder auch auf dem Land an Fahrt gewinnen?

Laut einer Studie von 2019 seien die Voraussetzungen dafür gut, führt Düerkop aus: »Während nur drei Prozent der Stadtbevölkerung ein E-Bike besitzen, sind es in ländlichen Gebieten bereits zehn Pro-

zent.« Demgegenüber stehe allerdings die Überzeugung vieler, »dass es auf dem Land ohne Auto nun mal nicht geht«, konstatiert Bürgermeister Aßmuth. Wenn die hohe Feinstaubbelastung der Atemluft hier ebenso wenig Thema ist wie der tägliche Stau auf dem Arbeitsweg oder die Parkplatzsuche beim Einkaufen – wie soll man da Zweifler von der Investition in ein Lastenfahrrad überzeugen? Auch deshalb hat sich der Lokalpolitiker für die Teilnahme seiner Gemeinde an RADLÄR entschieden: »Ich hoffe auf neue Argumente und Ansätze, wie wir der Radlogistik in unserer Region den Weg ebnen könnten.«

Damit steht Martin Aßmuth nicht allein da. In einem White Paper zur Radlogistik in deutschen Kommunen, erstellt 2023 im Rahmen des vom Bundesverkehrsministerium geförderten Projekts iKnowRadlogistik, gaben 45 Prozent der befragten Kommunen an, ihr Wissen hierzu sei schlecht bis sehr schlecht; jede fünfte Kommune sah in dem Informationsdefizit den Grund dafür, warum noch keine Radlogistikprozesse umgesetzt wurden. Während Forschung und Wirtschaft sich in den vergangenen Jahren intensiv mit der Umsetzung solcher Prozesse im urbanen Raum befasst haben, blieb der ländliche Raum bisher größtenteils unerforscht. Das Projekt RADLÄR, aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans vom Bundesministerium für Verkehr gefördert, will dazu beitragen, diese Wissenslücke zu schließen.

Ein ernstes Spiel mit Gewinnchancen für alle

Neben Aßmuth und dem RADLÄR-Forschungsteam versammeln sich Isabella Schmider, Geschäftsführerin Schwarzwald Tourismus Kinzigtal, und Martin ►

»Ich hoffe auf neue Argumente und Ansätze, wie wir der Radlogistik in unserer Region den Weg ebnen könnten.«

Martin Aßmuth,
Bürgermeister von
Hofstetten

Jugel, Sustainability Manager Operations beim Paketdienstleister Hermes Germany, um die Landkarte von Hofstetten. Die gehört zu einem Brettspiel, das Sozialwissenschaftler Julian Bickmann am Fraunhofer INT speziell für das Projekt entwickelt hat. »Serious Games« bieten einen niedrigschwelligen Zugang auch zu komplexen Themen«, erklärt der Forscher. »Außerdem kann durch den Einsatz von verschiedenen Spielelementen ein motivationaler Anreiz geboten werden – etwa dazu, dass sich die Teilnehmenden auf Augenhöhe austauschen und durch eine gemeinsame Zielsetzung lösungsorientiert an Ideen arbeiten, mit denen sich das Spielziel erreichen lässt.«

In einem ersten Schritt markieren die über die Hofstetten-Karte gebeugten Spielenden, in welchem Ortsteil eher gewohnt und wo vorwiegend gearbeitet wird. Wo befinden sich wichtige infrastrukturelle Knotenpunkte wie Bahnhof, Bushaltestellen, Radweg oder das »Mitfahrbänke«? Anschließend gilt es, Spielkarten mit logistischen »Missionen« abzuarbeiten: Wie könnte beispielsweise eine Seniorin ihren regelmäßigen Wocheneinkauf bequem und einfach nach Hause geliefert bekommen?

Spielfiguren fehlen beim RADLÄR-Game, dafür stehen unterschiedliche Spiel-Gefährte bereit: mit dem 3D-Drucker hergestellte Kompaktlastenräder, wie sie etwa von Briefaufträgerinnen oder Postboten verwendet werden, außerdem sogenannte »Long Johns« – Lastenfahrräder mit einer Ladefläche vorne – sowie ein Kabinenroller (»Heavy Cargo Bike«) mit eingeknicktem Vorderrad, da er die Reise vom Fraunhofer INT nach Hofstetten nicht ganz so gut verkraftet hat. Mini-Papiertüten, Päckchen und Plastik-Paletten symbolisieren jeweils die Menge des Transportguts. Spezielle »Innovationskarten« mit technologischen Upgrades der Fahrzeuge etwa durch einen e-Antrieb, eine größere Ladefläche oder die Möglichkeit der Energierückgewinnung öffnen zusätzliche logistische Möglichkeiten zur Missionserfüllung.

Einen Gewinner gibt es bei dem Spiel nicht. Oder anders ausgedrückt: Es gewinnen alle, denn, so Sascha Düerkop: »Hier werden vor allem Ideen geboren.« Und davon entstehen im Dachgeschoss des Hofstettener Rathauses einige. Etwa die, dass ein Mikrodepot vor Ort sinnvoll wäre, also eine Art Lagerraum, an dem der Warenumschlag von einem Transportmittel auf das andere erfolgt. Gäbe es so ein Depot am Rand der Gemeinde, könnte die berühmte letzte Meile zum Endkunden per Lastenfahrrad erfolgen. Oder die Option, Güter- und Personentransport per Cargobike miteinander zu verknüpfen, also beispielsweise ältere Menschen wahlweise zum Supermarkt zu fahren



In einem White Paper zur Radlogistik in deutschen Kommunen gaben

45 Prozent

der befragten Kommunen an, ihr Wissen hierzu sei schlecht bis sehr schlecht.



Wie kommt die Blume zum Beet? Auch für das Handwerk kann das Lastenrad eine nachhaltige Lösung sein.

bike und Auto oder Van ausrechnet, ob und wann sich der Wechsel zur Radlogistik finanziell lohnt. Tatsächlich, bestätigt Düerkop, spielt vor allem die Frage nach Kostenersparnis eine zentrale Rolle in Diskussionen um Radlogistik.

Die Infrastruktur als das wahre Nadelöhr der Radlogistik

Nach der Veranstaltung in Hofstetten folgten für das Projektteam fünf weitere Workshops in den jeweiligen Modellregionen. In allen Veranstaltungen bekamen die Teilnehmenden dieselben Missionen, die sie auf ihrer lokalen Stadtkarte bewältigen sollten. Die Workshops zeigten, dass die Bedeutung des Themas Radlogistik bereits im ländlichen Bereich angekommen ist – aber auch eine gewisse Ratlosigkeit und Skepsis, welche Umsetzungsmöglichkeiten vor Ort denkbar und möglich wären, konstatiert der Projektleiter. Für den großen Hebel brauche es allerdings neben dem Willen der Bürgerinnen und Bürger die Initiative von Unternehmen. Die Wirtschaft wiederum finde Radlogistik als Option zwar spannend, habe aber noch viele offene Fragen hinsichtlich Fördermöglichkeiten, gesetzlichen Regelungen und Infrastruktur. Für Projektleiter Düerkop steht fest: »Hier sind wir als Wissenschaftler nicht nur in der Rolle als Ideengeber, sondern auch als Vermittler gefragt.«

Im nächsten Schritt wollen die Forschenden zum einen Machbarkeitsstudien für drei der sechs Modellregionen erstellen, zum anderen allgemeine logistische Optionen zur Integration von Lastenrädern in regionale Wertschöpfungsketten erarbeiten und in einer Simulationsstudie testen. Am Ende von RAD-LÄR wird also ein Portfolio an skalierbaren Handlungsempfehlungen für Kommunen und Unternehmen in ländlichen Räumen stehen.

Vielleicht zählt dazu dann sogar die Idee eines dänischen Bestattungsunternehmens, das den Transport von Särgen zum Friedhof via Lastenfahrrad anbietet – inklusive der Möglichkeit einer Stadtrundfahrt für die Verstorbenen mit Begleitung der Hinterbliebenen: eine emissionsfreie und emotionale Lösung für die allerletzte Meile. ■

oder ihnen die Lebensmittel ins Haus zu liefern. Aßmuth: »Das könnte eine Antwort auf gleich zwei Herausforderungen in ländlichen Regionen sein – Überalterung und Ladensterben.«

Das Forschungsteam zieht aus dem Hofstettener Workshop aber mehr als nur Ideen: Es geht auch um das Ausloten der Wünsche seitens der Kommunen und Unternehmen an die Forschung. Bürgermeister Aßmuth etwa hätte gerne eine Software, die anhand volatiler Parameter wie Distanz, Benzin- oder Dieselpreis, Anschaffungs- und Wartungskosten von Cargo-

Infrastruktur



Hintergrund: Jian Fan/istockphoto

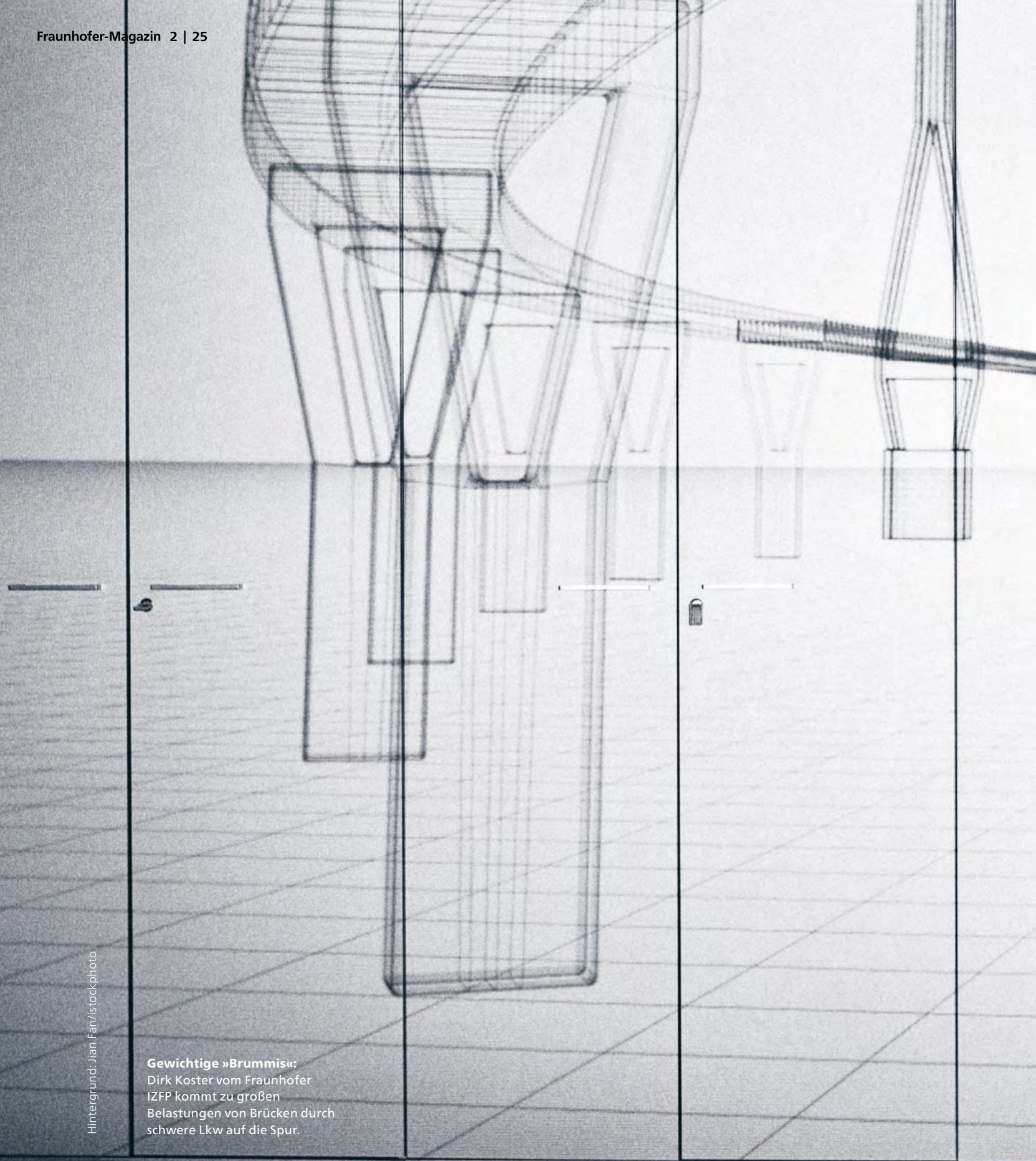
Heilmittel Daten:

Informatikerin Tagline
Treichel vom Fraunhofer
IESE setzt auf Digitali-
sierung und Digitalen
Zwilling, um Sicherheit
und Lebensdauer von
Bauwerken zu erhöhen.

Sanierungsfall Deutschland

Mindestens 8000 Autobahnbrücken und 17 630 Schienenkilometer deutschlandweit sind marode, Reparaturen und Neubauten brauchen jedoch Zeit. Wie Fraunhofer-Technologie Wartung und Instandhaltung beschleunigt – damit der Einsturz der Carola-Brücke in Dresden ein Einzelfall bleibt.

Von Dr. Janine van Ackeren; Fotograf: Jonas Ratermann



Hintergrund: Jian Fan/istockphoto

Gewichtige »Brummis«:
Dirk Koster vom Fraunhofer
IZFP kommt zu großen
Belastungen von Brücken durch
schwere Lkw auf die Spur.

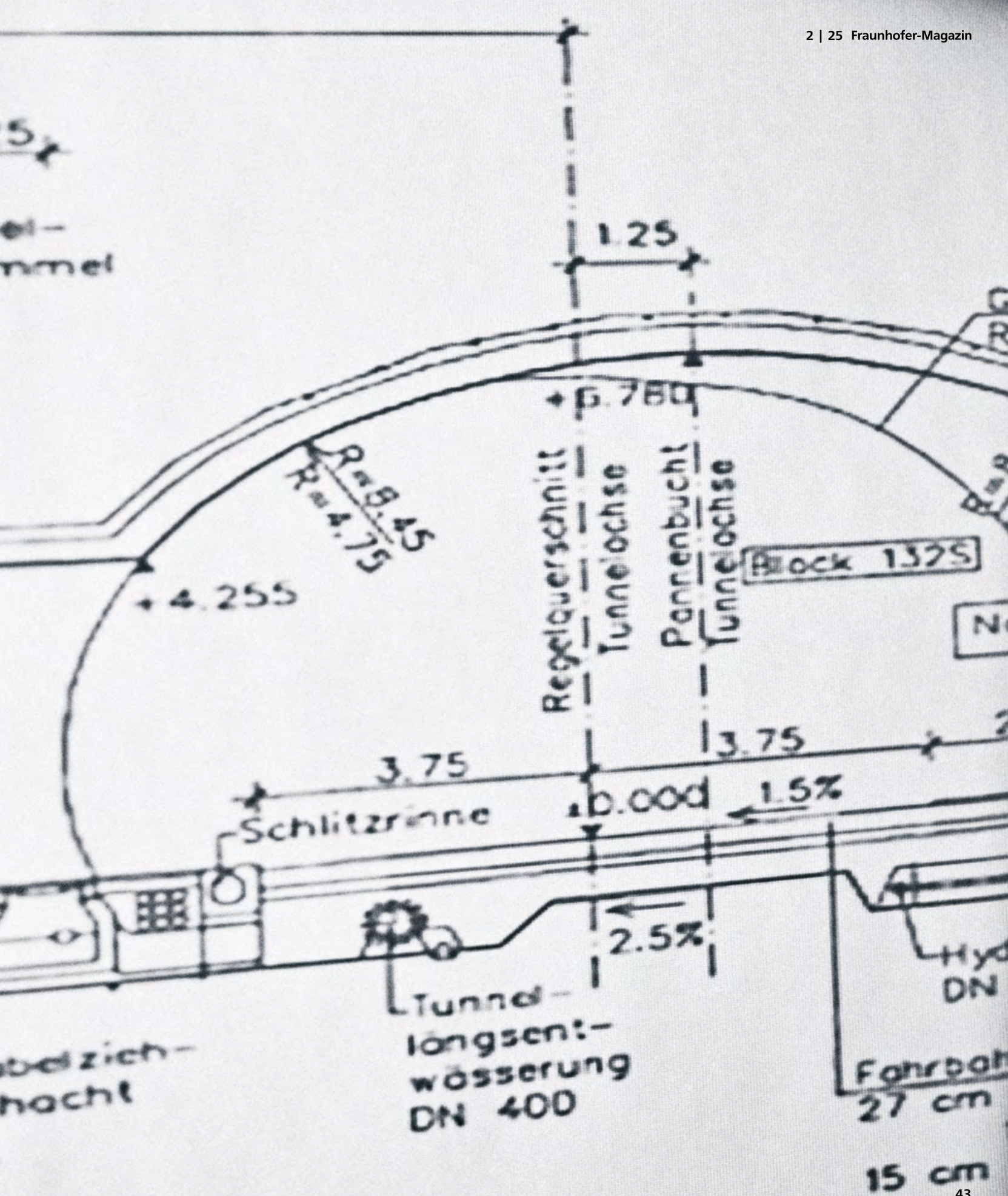


»Die Entwicklungsleistung liegt vor allem in der Datenreduktion und -bewertung direkt am Sensor sowie im Daten-Modell.«

Dirk Koster, Fraunhofer IZFP

Laser statt Hammer:

Prof. Alexander Reiterer vom Fraunhofer IPM zündet Plasmablitzte, um Tunneloberflächen auf Fehlstellen zu untersuchen, und ersetzt damit den klassischen Prüfhämmer.



Kleines Netzwerk, große

Wirkung: Das Sensorsystem MAUS, das Christoph Weingard vom Fraunhofer IZFP entwickelt, registriert Schäden an Brücken schnell und energiesparend.



Hintergrund: Eugene Sergeev/istockphoto

Autofahrten zum weit entfernten Urlaubsort gestalten sich seit jeher zäh. Doch das alljährliche Verkehrschaos gewinnt inzwischen ganz neue Dimensionen: Zum Auftakt der Pfingstferien staute es sich von einer Tunnelbaustelle der Tauernautobahn 45 Kilometer zurück bis an die bayerische Grenze. Urlauber, die nach Italien wollten, erlebten vielleicht einen Vorgeschmack auf die baldige Zukunft: In Deutschland haben zahlreiche Autobahnbrücken das Ende ihrer Lebenszeit erreicht und sind insbesondere für Lkw nur eingeschränkt befahrbar – was drastische Geschwindigkeitsbegrenzungen und immer wieder lange Staus verursacht. Mitunter sind Brücken auch komplett gesperrt oder müssen gesprengt werden. So etwa die Berliner Ringbahnbrücke auf der A100: Aufgrund eines Risses im Tragwerk war sie seit Mitte März dicht, im April wurde sie abgerissen.

8000 Autobahnbrücken und 17 630 Schienenkilometer stuft das Bundesministerium für Digitales und Verkehr in der Zustandserfassung 2022 als sanierungsbedürftig ein – ihr Zustand dürfte sich seither kaum verbessert haben. Die gemeinnützige Organisation Transport & Environment kommt mit 16 000 baufälligen Brücken sogar auf die doppelte Anzahl. Die mit maroden Brücken einhergehenden Behinderungen bremsen auch die Wirtschaft aus: Die Produktivität sinkt, die Kosten steigen, Investoren werden abgeschreckt. Allein die Rahmedetalbrücke in Lüdenscheid, die im Dezember 2021 gesperrt und im Mai 2023 gesprengt wurde, wird bis zum Jahr 2026 nach einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft 1,8 Milliarden Euro volkswirtschaftliche Kosten verursacht haben – davon allein 1,2 Milliarden Euro Verzögerungskosten durch Staus und Umleitungen.

Allerhöchste Zeit, gegenzusteuern: Bundestag und Bundesrat haben für die kommenden zwölf Jahre ein Sondervermögen von 500 Milliarden Euro freigegeben, um die Infrastruktur wieder auf Vordermann zu bringen. 100 Milliarden Euro davon fließen in die Länder und Kommu-

16 000
baufällige
Brücken laut
einer Erhebung
von Transport &
Environment.

nen, weitere 300 Milliarden stehen für Infrastrukturprojekte des Bundes zur Verfügung. Eine gigantische Aufgabe, die derzeit nur schleppend vorangeht: Bis Ende 2024 modernisierte die zuständige Autobahn GmbH laut Bundesrechnungshof lediglich 40 Prozent der Brücken, die laut Brückenmodernisierungsprogramm des Verkehrsministeriums bis dahin hätten saniert werden sollen.

Das größte Problemkind: Brücken

Gefordert ist die Kunst der richtigen Priorisierung. Sollen Brücken instand gehalten oder auch rechtzeitig saniert werden – bevor sie schlimmstenfalls einstürzen wie die Dresdner Carolabrücke –, sind reale, belastbare Daten gefragt. Ein wichtiges Kriterium bei der Frage, wie hoch die Beanspruchung eines Bauwerks ist und ob dadurch eine Sanierung notwendig wird, ist die Achslast – also die Kraft, die von der Fahrzeugachse auf die Fahrbahn und dadurch auf das Bauwerk übertragen wird. Etwa die Hälfte der über 28 000 Brückenteilbauwerke der Bundesautobahnen in Deutschland stammt aus der Zeit vor 1985, in der sich weitaus weniger und vor allem deutlich leichtere Lkw über die Brücken schoben. Mittlerweile sind 40 Tonnen Gesamtgewicht und zehn Tonnen Last für Einzelachsen keine Seltenheit mehr. »Während es für den Verschleiß der Brü-

cke ziemlich egal ist, wie viele Pkw täglich über sie hinwegdonnern, können zu große Achslasten von Lkw zu Rissen und Materialermüdung in der Baustruktur führen«, sagt Dirk Koster, Chief Scientist am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP.

Das Verbundprojekt ImaB-Edge soll eine stabilere Grundlage für die Brückenbewertung legen. Neben dem Fraunhofer IZFP, dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS sowie der Autobahn GmbH des Bundes sind sieben weitere Partner beteiligt. Gefördert wird ImaB-Edge mit rund 5,6 Millionen Euro vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt. Herzstück ist ein Sensorsystem – bestehend aus einem zentralen Knotenpunkt, dem Edge-Gateway, an den zahlreiche Sensor-Edges gekoppelt werden können, von denen jedes in der aktuellen Ausbaustufe wiederum 32 Sensoren bedienen kann. »Die Entwicklungsleistung liegt vor allem in der Datenreduktion und -bewertung direkt am Sensor unter Zuhilfenahme hochperformanter Elektronik sowie im Daten-Modell, das wichtige Informationen liefert, damit Bauingenieure auch vor Ort belastbare Vorhersagen zum Zustand der Brücke treffen können«, sagt Koster. Die Informationen, die die Sensoren in und an der Brücke erheben, werden aufgrund der gigantischen Datenmenge also nicht an eine Cloud ►



Dirk Koster, Fraunhofer IZFP

geschickt, sondern vor Ort mittels Künstlicher Intelligenz analysiert und komprimiert. Lediglich gebündelte Informationen zum Zustand der Brücke landen auf dem Server des Betreibers.

In einem Reallabor auf dem Parkplatz des Fraunhofer IZFP haben die Forschenden das System bereits auf Herz und Nieren geprüft. Ziel ist eine kontinuierliche Überwachung der Brücken, um eine Verschlechterung des Zustands schnell detektieren zu können. So haben die Expertinnen und Experten jederzeit belastbare Daten zur Verfügung und können notfalls zeitnah einschreiten. Dazu nehmen im Straßenbelag verbaute Vibrations- und Temperatursensoren Tag für Tag 500 Gigabyte Daten auf, die via LAN oder Bluetooth an das Sensor-Edge übertragen und dort gemeinsam mit Infos aus der Wetterstation sowie einer angeschlossenen Kamera vorverarbeitet werden. Mithilfe der Vibrationsdaten, die bei der Überfahrt eines Fahrzeugs entstehen, sowie der Asphalt- und Umweltbedingungen lassen sich die Achslasten der passierenden Fahrzeuge abschätzen. Die Kamera kombiniert diese Daten mit den realen Informationen der Fahrzeuge, beispielsweise der Geschwindigkeit und der Anzahl sowie Abstände der Achsen. Im Edge-Gateway werden diese und weitere Daten wie beispielsweise die Ergebnisse der Bauwerksprüfung von der KI analysiert und mit dem digitalen Modell der Brücke verbunden. Bis Ende Oktober 2025 möchte das Team ImaB-Edge zudem in eine Autobahnbrücke integrieren. Perspektivisch soll ImaB-Edge auch kritische Zustände an Bahnanlagen, Tunneln und Dämmen frühzeitig erkennen.

Sensorplattform MAUS: Schnell zu einem praktikablen Brückenmonitoring

Bei ImaB-Edge handelt es sich um ein High-Performance-System, das Daten von Dutzenden oder gar Hunderten von Sensoren präzise erfasst. Bei einigen Bauwerken stehen statt einer komplexen Messung jedoch Schnelligkeit und geringer Stromverbrauch im Vordergrund:



»Da das System MAUS sowohl die Funktion des Edge-Gateways als auch des Sensornetzes in einer einzigen Plattform zusammenfasst, kommt man innerhalb weniger Tage zu einer praktikablen Lösung.«

Christoph Weingard,
Fraunhofer IZFP

Zeigt sich bereits ein Riss, muss die Brücke umgehend überwacht werden. In solchen Fällen spielt das Monitoringsystem MAUS – kurz für »Multimodale Autarke Sensorplattform« – aus dem Fraunhofer IZFP seine Stärken aus. »Da das System MAUS sowohl die Funktion des Edge-Gateways als auch des Sensornetzes in einer einzigen Plattform zusammenfasst, kommt man innerhalb weniger Tage zu einer praktikablen Lösung. Anpassungen für eine erfolgreiche Implementierung

sind innerhalb weniger Wochen möglich«, sagt Christoph Weingard, Wissenschaftler am Fraunhofer IZFP. »Nötig sind lediglich eine Spannungsversorgung, etwa ein haushaltsüblicher 230-Volt-Anschluss, sowie ein Kommunikationskanal wie LoRaWan oder 5G/LTE.« In abgelegenen oder schwer zugänglichen Bauwerksbereichen kann zur Stromversorgung eine Solarzelle genutzt werden. Auch der Aufbau gestaltet sich einfach: Die vier elektronischen Baugruppen, aus denen MAUS besteht – Basismodul mit Prozessorkern, Sensormodul, Kommunikationsmodul und Spannungsversorgung – lassen sich beliebig aufeinanderstecken. Dabei kann MAUS nicht nur handelsübliche einfache Sensoren für zum Beispiel Dehnung, Verschiebung, Durchbiegung, Neigung, Feuchte und Temperatur integrieren, sondern auch spezielle Vibrations-, Schall-, Ultraschall- oder Wirbelstromsensoren. Je nach Anforderung spürt Ultraschall beispielsweise Risse auf, Beschleunigungssensoren können die Eigenschwingung des Bauwerks erfassen, und Körperschall detektiert gerissene Spanndrähte. »Diese Bandbreite an Sensoriken im Brückenbau einzusetzen und das mit nur einer flexibel anpassbaren Monitoring-Elektronik, wird zur Lösung der aktuellen Probleme kritischer Infrastruktur einen entscheidenden Beitrag leisten«, weiß Weingard. Die erhobenen Daten werden verschlüsselt direkt an die Brückenbetreiber gesendet. Eine spezielle Konfiguration des MAUS-Systems ist unter anderem an einer Münchner Brücke implementiert und unterstützt den Betreiber bereits dabei, seinen Aufwand für die Zustandsüberwachung zu reduzieren.

Besonderheit Stahlbrücken

»Die meisten Überwachungssysteme beziehen sich auf Betonbrücken – für Stahlbrücken dagegen mangelt es an Technologien«, so Dr.-Ing. Christoph Heinze, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP. Erklärbar, da 90 Prozent aller deutschen Brücken aus Beton bestehen.

Problematisch sind die fehlenden Technologien dennoch: Schließlich weisen Stahlbrücken mit Korrosion und Ermüdungsrisse andere Schadensbilder auf als solche aus Beton, wo unter anderem der Beton abplatzen kann oder Feuchtigkeit dem Bauwerk zusetzt. Heinze und sein Team wollen diese Lücke daher schließen. Im Projekt BIM-LeB – kurz für »BIM-gestütztes Lebenszyklusmanagement von Brücken« – arbeiten sie gemeinsam mit der TU Dortmund an einem Rundumschlag zur Schadensüberwachung bei Stahl- und Stahlverbundbrücken. »Wir betrachten den gesamten Zyklus: Angefangen bei der Zustandserfassung des Bauwerks – also dem Ist-Zustand – über das kontinuierliche Monitoring von Veränderungen, die wir in ein BIM-Modell einspeisen, bis hin zur Vorhersage der Schadensentwicklung samt Handlungsempfehlungen«, erläutert Heinze. Das BIM-Modell, kurz für »Building Information Modelling«, beschreibt computergestützte Methoden, um ein Bauwerk digital abzubilden.

Es geht um zwei Kernfragen: Wie verändert sich die Brücke über die Zeit? Welchen Belastungen ist sie ausgesetzt? »Um sie zu beantworten, bauen wir gemeinsam mit den Lehrstühlen Stahlbau und Computergrafik der TU Dortmund digitale Modelle auf, etwa für Tragwerksberechnungen«, erläutert Heinze. Die Basis bilden Fotos, die die Forschenden per Drohne aufnehmen und aus denen sie über photogrammetrische Verfahren ein Modell erstellen. Sind die Anforderungen an die Messgenauigkeit höher oder das Bauwerk schlecht zugänglich, setzen sie auch andere Verfahren ein, beispielsweise Laser-Scanner oder mobile Mapping-Systeme. Das Ergebnis ist bei jedem System eine 3D-Punktwolke, die sie zusammen mit Angaben zu den einzelnen Strukturen in ein BIM-Modell überführen. Vier Brücken haben die Forschenden bereits auf diese Weise digital modelliert, unter anderem eine 20 Meter lange Eisenbahnbrücke. Anhand der Modelle und aktueller Sensordaten sagen die Forschenden der TU Dortmund per Künstlicher Intelligenz die Schadensentwicklung vorher. Bleibt das Ausmaß eines

Schadens über die Zeit annähernd gleich? Oder verschlimmert er sich rasant?

Digitalisierung: Waffe im Kampf gegen marode Brücken

Die Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE und der Universität der Bundeswehr München sehen die Lösung für das Brücken-Dilemma ebenfalls in der Digitalisierung. Genauer gesagt im Digitalen Zwilling: Er soll alle Daten, die zu einer bestimmten Brücke existieren, an einem Ort vereinen und jederzeit greifbar werden lassen, angefangen bei Infor-

»Der Digitale Zwilling erlaubt Einblicke in den aktuellen Zustand einer Brücke ebenso wie vorausschauende Analysen und ein effizientes Lebenszyklusmanagement.«

Tagline Treichel,
Fraunhofer IESE



mationen zu Planung und Bau über Betriebsdaten bis hin zum Rückbau. Welche Materialien wurden wo auf welche Weise verbaut? »Der Digitale Zwilling erlaubt Einblicke in den aktuellen Zustand einer Brücke ebenso wie vorausschauende Analysen und ein effizientes Lebenszyklusmanagement«, sagt Tagline Treichel, Computerwissenschaftlerin am Fraunhofer IESE. »Die Sicherheit steigt, die Lebensdauer des Bauwerks wird verlängert, vorausschauende Wartungen werden möglich.«

Bekannt ist der Digitale Zwilling aus dem Bereich der Produktion: Dort bildet er den aktuellen Zustand ab und sagt vorher, wie das System auf Änderungen reagiert. Für die Brückenüberwachung greifen die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IESE auf eine Open-Source-Software zurück, die sie ursprünglich für den Digitalen Zwilling in der Industrie entwickelt haben, und passen sie entsprechend an. Dabei liegt die Herausforderung vor allem darin, die riesige Menge an Daten zu integrieren: Da diese in verschiedenen Formaten vorliegen, die vielfach nicht kompatibel sind, übersetzen die Forschenden sie in eine einheitliche Sprache. Nochmal schwieriger wird es, wenn die Daten lediglich als Papierversion vorhanden sind: Das Team arbeitet in einem weiteren Projekt daran, diese Informationen automatisiert zu übertragen.

Die »Übersetzung« steht so weit, fünf Brücken haben die Forschenden bereits digitalisiert. Etwa die Brücke Schwindegg im Landkreis Mühldorf am Inn: In ihr stecken zudem fast 140 Sensoren, die Daten zu Beschleunigung, Dehnung, Wetter und mehr sammeln, die ebenfalls in den Digitalen Zwilling einfließen. Ist es also realistisch, dass in den nächsten Jahren alle Brücken Deutschlands digitalisiert werden? »Aus technologischer Sicht ist das definitiv machbar – die Grundlagen sind vorhanden, und erste Pilotprojekte zeigen, wie es funktionieren kann. Die eigentliche Herausforderung liegt in der Koordination aller beteiligten Akteure, denn die Brückeninfrastruktur verteilt sich auf unterschiedliche Zuständigkeiten von Bund, Ländern und Kommunen«, sagt Treichel. ►

Tunnel: Hohlstellen und Wassereinbrüche aufspüren

Technologien wie Sensornetzwerke und Digitaler Zwilling lassen sich auch auf andere Bauwerke übertragen. Dennoch sind bei der Infrastrukturüberwachung von Tunneln und Schienen die Lasertechnologien führend. Bei Tunneln liegen die Herausforderungen vor allem in Hohlstellen und Wassereinbrüchen. Wie viele Tunnel in Deutschland von solchen Schäden betroffen und sanierungswürdig sind? Belastbare Zahlen fehlen. Bislang erfolgt die Überprüfung der Tunnel händisch: Bautrupps klopfen die Tunneloberfläche mit einem definierten Hammer ab und lauschen dem Nachhall. Klingt es hohl? Was hemdsärmelig klingt, ist ein genormtes Verfahren und Stand der Technik. Doch ist die Lokalisierung von Schäden recht ungenau, da die Prüfer diese nur grob in den Tunnelplan einzeichnen.

»Wir ersetzen den mechanischen Hammer durch einen Laserpuls«, beschreibt Prof. Alexander Reiterer, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, das Projekt LaserBeat, an dem er gemeinsam mit dem Fraunhofer IGP arbeitet. »Dazu fokussieren wir einen Laserstrahl so stark, dass vor der Tunneloberfläche ein Plasmablitzz gezündet wird, der wiederum eine Schockwelle auf der Oberfläche induziert.« Die Forschenden klopfen quasi an der Oberfläche, ohne sie zu berühren. Ein Lasermikrophon nimmt den entstehenden Ton auf. Ebenso wie bei der manuellen Untersuchung stellt sich auch hier die Frage nach dem hohlen Klang. Von einem Standort aus lässt sich die Tunneloberfläche jeweils zwei Meter in jede Richtung analysieren – ortsgenau und, anders als beim menschlichen Hörtest, objektiv.

Während sich die Forschenden des Fraunhofer IPM vor allem der Hard- sowie Teilen der Software widmen, analysieren die Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer IGP die erzeugten Daten via KI. Den acht Kilometer langen Albvorlandtunnel



»Wir ersetzen den mechanischen Hammer durch einen Laserpuls.«

Prof. Alexander Reiterer,
Fraunhofer IPM

zwischen Stuttgart und Ulm hat das Forscherteam bereits vermessen, nun sollen zwei weitere Testtunnel folgen. Dabei ist das Verfahren nicht auf Tunnel beschränkt, vielmehr eignet es sich für alle Betonstrukturen. »Das Interesse signalisiert, dass der Markt auf diese Technologie gewartet hat«, freut sich Reiterer. In zwei Jahren könnte der »Laserhammer« für Tunnelbetreiber und Co. einsatzbereit sein.

3D-Laserscanner misst Feuchtigkeit

Sei es bei der Überwachung von Brücken, Tunneln oder Schienen: Der Verkehrsablauf sollte möglichst unbehelligt bleiben. Bei Tunneln kann das künftig so aussehen: Statt sie für Inspektionen zumindest teilweise sperren zu müssen, sitzen die Messeinheiten an Zügen, die ohnehin über die Schienen rattern, bei Straßentunneln an Inspektionsfahrzeugen. Dies

Realität werden zu lassen, daran arbeitet Reiterer mithilfe neuer Laserscanning-Verfahren. »Mit sehr schnell moduliertem Laserlicht und speziell rotierenden Spiegeln können inzwischen mehrere Millionen 3D-Punkte pro Sekunde erfasst werden. Herausragend dabei ist, dass nicht nur die Geometrie, sondern auch weitere Merkmale wie die Feuchtigkeit bestimmt werden können«, erläutert Reiterer. Und das quasi im Vorbeifahren.

Schiene: Vom Gleisbett bis zum Zug

Eingesetzt werden solche Verfahren des Fraunhofer IPM auch für die Schiene, insbesondere um ihre Bewegungen auszumachen: Sackt der Schotter ab, ändert sich vielfach auch die Position des Gleises. So scheinen defekte Betonschwellen die Ursache für das Zugunglück von Burgrain im Sommer 2022 gewesen zu sein, bei dem vier Frauen und ein 13-Jähriger starben und 78 Menschen teils schwer verletzt wurden. Auf einem Zug angebracht, kann der Laserscanner solche Verschiebungen exakt detektieren. Das System an sich funktioniert, es wird sowohl von der Deutschen Bahn als auch außerhalb Deutschlands bereits eingesetzt. Bisher scannt es zwar noch von Messfahrzeugen aus, doch arbeiten die Forschenden am Transfer auf den Regelzug. »Die erforderliche kleine Baugröße haben wir bereits realisiert, nun folgt die Evaluierung«, erklärt Reiterer. In den nächsten sechs bis neun Monaten stehen erste Tests des miniaturisierten Systems auf der Schiene an – das dann auch den regulären Weg in ICEs und Co. finden könnte.

Sollen die Prüfsysteme künftig in Regelfahrzeugen stecken, ist auch eine entsprechende Datenauswertung gefragt: Bei Zügen, die unablässig im Einsatz sind, müssen die Daten in Echtzeit analysiert und per Funk übertragen werden. Leisten kann dies das System MUM-Mini aus dem Fraunhofer IPM. Auf der Größe eines Schuhkartons finden sowohl mehrere Laserscanner als auch Kamerasystem und Prozessions-einheit für die Datenauswertung Platz. Ur-

sprünglich wurde das System für die Straße entwickelt, wo es Objekte wie Laternen, Schachtdeckel, Bordsteinkanten sowie unterschiedliche Straßenbeläge detektiert. Um diese Ausgangsversion auf die Bahn anzupassen und für den Einsatz an Regelzügen zu miniaturisieren, haben die Forschenden an zahlreichen Schraubchen gedreht. »Unter anderem haben wir ein Messverfahren integriert, das das reflektierte Laserlicht über sehr kleine Spiegel wieder einfängt«, sagt Reiterer. Die größte Herausforderung liegt jedoch darin, die Daten via KI in Echtzeit direkt in der Messbox auszuwerten. Bis das System an Regelzügen eingesetzt werden kann, sind noch etwa ein bis zwei Jahre Entwicklungsaufwand nötig.

Schienenköpfe von Regelzügen aus überprüfen

Elementar bei der Wartung von Schienen ist darüber hinaus die Abnutzung des oberen Schienenteils. Diese sogenannten Schienenköpfe werden im Laufe der Zeit vor allem an der Innenseite abgeschliffen – die Fahrt wird holpriger, was den Verschleiß der Schienenköpfe abermals vorantreibt. Bilden sich Mikrorisse, kann dies die Schiene auf Hunderten von Metern aufbrechen lassen: ein Szenario, das unbedingt vermieden werden muss. Auch hier kommen derzeit spezielle Messzüge zum Einsatz. An ihrer Unterseite projizieren Sensoren eine Laserlinie auf den Schienenkopf und nehmen diese per Kamera auf. Anhand der Verformung der Laserlinie lässt sich submillimetergenau ablesen, wie es um die Schienenköpfe bestellt ist. »Wir konnten die Kosten des Systems durch günstigere Messtechnik erheblich senken, zudem werden die Daten über eine neue Algorithmik direkt am System ausgewertet«, sagt Reiterer. Damit ebnet die Technologie den Weg der Testsysteme in die Regelzüge auch in puncto Schienenkopf-Überprüfung.

Soll es noch kostengünstiger werden, gilt es, die optischen Systeme zu ersetzen. Eine Möglichkeit dafür liegt in Beschleunigungsgebern – Low-Cost-Sensoren, die

in jedem Handy stecken. Wie sie sich einsetzen lassen, untersucht Reiterer in den kommenden Monaten mit seinem Team. »Ist der Schienenkopf in schlechtem Zustand, wackelt der Waggon. Aus der Charakteristik des Wackelns lässt sich errechnen, wie es um die Schienenköpfe bestellt

»Durch die Klimaveränderungen erwärmen sich die Schienen mitunter auf über 60 Grad Celsius – einige Grad mehr, als bei der Auslegung angenommen wurden.«

Michael Becker,
Fraunhofer IZFP

ist«, sagt Reiterer. Also einfach drei bis vier Beschleunigungssensoren in jeden ICE kleben – und schon weiß man, wie es um die Schiene steht? Ganz so einfach ist es nicht: Die Krux liegt in der Datenauswertung. »Zwar weisen die Daten aus dem Sensor bei intakten Schienen eine andere Struktur auf als bei Fehlstellen, doch sind diese Muster individuell. Es sind somit massenhaft Daten nötig, um die KI zu trainieren«, weiß Reiterer. Diese Daten werden die Forschenden von einem Nebenbahnbetreiber erhalten, an dessen Personenzügen sie Sensoren anbringen dürfen.

Klimawandel im Schienenverkehr

Nicht nur Straßen und Brücken werden stetig voller, auch der Personen- und

Güterverkehr auf der Schiene soll sich aktuellen Prognosen zufolge bis 2040 verdoppeln. Die Antwort der Österreichischen Bundesbahnen ÖBB lautet: Digitalisierung. Wie lässt sich das gesamte Streckennetz der Bahn digital erfassbar, bewertbar und vorhersagbar machen? Dies untersuchten die ÖBB mit rund 20 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft im Projekt Rail4Future. Für das Teilprojekt »Smart Rail« holte sich das Unternehmen das Fraunhofer IZFP ins Boot, gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Verkehrswegebau der TU München. »Durch die Klimaveränderungen erwärmen sich die Schienen mitunter auf über 60 Grad Celsius – einige Grad mehr, als bei der Auslegung angenommen wurden«, sagt Michael Becker, der das Unterprojekt leitete. »Die Schienen stehen somit unter größerer Längsspannung als erwartet.« Insbesondere dort, wo die Schienen fest mit dem Untergrund verbunden sind wie in Bahnhöfen oder an Brücken, kann es zu Verwerfungen kommen, die die Waggonen aus der Schiene springen lassen.

Schienenbetreiber möchten die lokalen Neutraltemperaturen des Schienennetzes daher exakt kennen, sprich die Temperatur, bei der ein Gleisabschnitt komplett spannungsfrei ist. »Beim Aufbau der Schiene liegt die Neutraltemperatur zwischen 20 und 30 Grad, doch kann sich diese über die Betriebszeit verändern«, weiß Becker. Übliche Messmethoden erfordern etwa 30 bis 40 Minuten Messzeit pro Standort und liegen damit fernab von dem, was ohne Streckensperrungen machbar wäre. Die ÖBB möchten jedoch bestehende Lücken im regulären Fahrplan für die Messungen nutzen.

Im ersten Schritt überprüften die Forschenden bestehende Messmethoden: Lassen sie sich für die Analyse am Gleis adaptieren? Genügen Prüfgeschwindigkeit und Präzision? Das Rennen machten Ultraschall und magnetische Messmethoden. Darauf folgte eine Kalibrierung in den Laboren der TU München. Die Forschenden spannten eine zwei Meter lange Schiene in einen Messstand und brachten hydraulisch eine Zug- und Drucklast von ►

70 000 Kilogramm auf. Beim Ultraschall tüftelten sie vor allem daran, Materialunterschiede zwischen den Schienenabschnitten von Spannungen im Gleis trennen zu können. Für die magnetische Messung lag die Herausforderung darin, verschiedene unbekannte Schienenabschnitte miteinander vergleichbar zu machen. Als diese Hürden genommen waren, folgte ein einwöchiger Großversuch im Gleisbett bei Rasdorf. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Eine Messung dauert lediglich zwei Minuten, benötigt wird nicht mehr als eine kleine Messbox und ein Laptop. Die methodische Entwicklung ist abgeschlossen, nun soll die Validierungsphase an den verschiedenen Schienennetzen folgen.

Fühlende Züge überwachen Zug und Schiene

Verlässliche und präzise Messwerte erhalten, ohne den Schienenverkehr zu beeinträchtigen: Dieses Ziel verfolgte auch das im Januar 2025 abgeschlossene Projekt SenseTrain, in dem das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT mit der DB Systemtechnik und drei weiteren Partnern kooperierte. Der Clou: Die Sensoren messen den Verschleiß an den Schienen aus der Mitte eines Bauteils heraus – in diesem Fall eines Radlagerdeckels im ICE. »Wir haben eine Technologie entwickelt, mit der wir Sensorik in 3D-gedruckte Bauteile integrieren können«, erläutert Dr. Tim Lantzsch, Abteilungsleiter am Fraunhofer ILT. »Auf diese Weise erhält man einerseits Messwerte aus dem Bauteilinneren statt lediglich von der Oberfläche, andererseits ist die Sensorik vor Öl und anderen unwirtschaftlichen Umgebungsbedingungen geschützt.« Da sich aus den Daten nicht nur Informationen zu den Gleisen ziehen lassen, sondern sie auch zur vorausschauenden Planung von Wartungszyklen an den Zügen dienen können, wurden als Testflotte ICEs der ersten Generation gewählt. Gemessen werden die Kräfte, die während der Fahrt im Fahrwerk entstehen: Treten nur an einigen Streckenab-

schnitten höhere Belastungen auf, ist dies mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Abnutzung der Schienen zurückzuführen. Sind hohe Kräfte dagegen beispielsweise stets ausschließlich in Rechtskurven zu verzeichnen, dürfte die Ursache im Zug liegen. Eine erste Testfahrt brachte das System bereits erfolgreich hinter sich: Die Datenaufnahme aus dem fahrenden Zug heraus funktioniert.

Radsätze sicher machen

Instandhaltung von Infrastruktur betrifft nicht nur das Schienennetz, sondern auch die Züge an sich. So müssen unter anderem die Radsätze in regelmäßigen Abständen

für die Prüfer rechtliche Schwierigkeiten nach sich ziehen kann. Eine Alternative bieten vollautomatisierte Radsatzprüfanlagen namens AURA: Sie speichern die erhobenen Daten, erfordern jedoch eine Investition von etwa einer Million Euro plus benötigter Infrastruktur.

Halbautomatisiert und nachvollziehbar prüfen

Forschende des Fraunhofer IZFP haben im Projekt PASAWIS gemeinsam mit der Rail-Maint GmbH und der Evident GmbH eine halbautomatisierte Version entwickelt, die lediglich mit etwa 250 000 Euro zu Buche schlägt. »Sie speichert die Prüfdaten im DICONDE-Format – einem offenen Standard – und bringt Prüfer damit auf die sichere Seite«, freut sich Stefan Caspary, Wissenschaftler am Fraunhofer IZFP. Mit 15 Minuten ist die Prüfung bis zu dreimal schneller als die händische Version. Ein weiterer Vorteil: Während die vollautomatische Testung zwei Prüfarten erfordert – Ultraschall und Wirbelstrom – und die Mitarbeitenden daher zwei Schulungen benötigen, kommt PASAWIS mit dem Ultraschallverfahren aus. »Die Besonderheit liegt jedoch weniger im Prüfverfahren als vielmehr in der Software«, stellt Caspary richtig. »Der Prüfer wird von Anfang bis Ende durch die Prüfung geführt, die Ergebnisse werden automatisch in Berichten gespeichert und mit der digitalen Signatur des Bearbeitenden versehen. Ebenso werden alle Prüfdaten vollständig aufgezeichnet und können jederzeit wieder ortsunabhängig geladen werden.« Mehrere PASAWIS-Anlagen haben die Forschenden bereits gebaut, mittlerweile kann das VPI- und DB-zertifizierte System über den Industriepartner Evident bezogen werden.

Geld ist mit dem Sondervermögen vorhanden. Jetzt geht es darum, es möglichst schnell und möglichst punktgenau dort einzusetzen, wo es am wichtigsten ist. Fraunhofer-Technik kann dabei helfen – und auch dabei, die Belastungen für die Reisenden so gering wie möglich zu halten. ■

»Wir haben eine
Technologie
entwickelt, mit
der wir Sensorik
in 3D-gedruckte
Bauteile integrieren können.«

Dr. Tim Lantzsch,
Fraunhofer ILT

untersucht werden. Dies kann zum einen händisch passieren: Die ausgebauten Radsätze werden mit einem kleinen Handgerät via Ultraschall inspiziert – mit 16 000 bis 17 000 Euro eine verhältnismäßig günstige Variante, die etwa 20 bis 40 Minuten pro Radsatz in Anspruch nimmt. Die Daten werden jedoch nicht gespeichert, was

Der Sound sicherer Brücken

Wie lassen sich Deutschlands alternde Brücken großflächig überwachen? Durch genaues Hinhören, sind Forschende des Fraunhofer IDMT überzeugt.

Von Dr. Sonja Endres

Manche Brücken sind so kaputt, dass sie sich lautstark bemerkbar machen. »Wenn geschweißte Stützverbindungen, sogenannte Traversen, brechen, gibt es einen ohrenbetäubenden Knall, den auch Anwohner in einiger Entfernung deutlich hören«, erzählt Olivia Treuheit. »So weit wollen wir es erst gar nicht kommen lassen«, versichert die Wissenschaftlerin. Zusammen mit ihrem Team vom Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT im thüringischen Ilmenau hört sie deshalb aufmerksam hin, wenn Autos und Lkw über Brücken donnern und sie zum Vibrieren bringen. Die Forscherinnen und Forscher wollen bereits kleinere Schäden wie Mikrorisse oder gelockerte Schrauben sowie Verschmutzungen frühzeitig am Klang erkennen.

Die gesammelten Audiodaten wertet das Forschungsteam mithilfe von KI aus. Treuheit: »So können wir alle Störgeräusche wie Verkehrslärm, Regen, Vogelgezwitscher oder Autoradiomusik herausfiltern. Übrig bleibt ausschließlich der Eigenton der Brücke, der durch die Erschütterung beim Überqueren erzeugt wird.« Klangliche Abweichungen geben Hinweise auf mögliche Schäden – noch bevor diese sichtbar werden.

Ziel ist ein kontinuierliches akustisches Monitoring von gefährdeten Brücken, die älter sind als 25 Jahre. Dafür wollen die Forscherinnen und Forscher langfristig kostengünstige MEMS-Mikrofone mit einer hohen Empfindlichkeit nutzen, die an den Brücken installiert werden sollen. Die neuartigen mikroelektronischen Schallwandler sind besonders geeignet für Anwendungen, bei denen Platz und Energieverbrauch eine große Rolle spielen, und kommen daher

beispielsweise auch in Smartphones zum Einsatz. Zunächst finden Messungen an zwei Testbrücken im sächsischen Pirna statt – die eine geschraubt, die andere geschweißt. Dabei wird das Forschungsteam von der MKP GmbH unterstützt, einem Ingenieurbüro, das sich auf das messtechnische Brückenmonitoring spezialisiert hat. Treuheit: »Wir wollen eine möglichst breite akustische Varianz aufzeichnen, nicht nur den Idealzustand.« Dafür werden die Fahrbahnen beispielsweise bewusst verschmutzt oder die Schrauben an einzelnen Stellen kontrolliert gelockert. Nur so kann die KI lernen, nicht allein Anomalien zu erkennen, sondern die Geräusche auch bestimmten Ursachen zuzuordnen. »Wir wissen aus der akustischen Überwachung in der industriellen Produktion, einem Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer IDMT, wie sich der Klang von Schweißverbindungen verändert, wenn sie beispielsweise Risse enthalten. Unsere Expertise wollen wir jetzt für die Brücken nutzen.«

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hoffen daher auf eine Folgefinanzierung für ihr Projekt AIrBSound, das zunächst bis Juni 2026 von der Bundesanstalt für Straßenwesen gefördert wird. Die Zeichen stehen günstig: Spätestens seit dem Einsturz der Carolabrücke in Dresden im September 2024 ist das Thema in den öffentlichen Fokus gerückt. Treuheit: »Es ist extrem motivierend, an einem gesellschaftlich und wirtschaftlich so relevanten Thema zu forschen. Besonders das institutsübergreifende Arbeiten im Fraunhofer-Verbund mit Expertinnen und Experten in den Bereichen Bauphysik, Prototyping oder Audio-Hardware bietet hier enormes Potenzial, gute Lösungen zu finden.« ■

Mit dem Laser gegen die Ewigkeitskosten

Deutschland sitzt auf einem strahlenden Erbe: 600 000 Fässer mit Atommüll – neuere dokumentiert, ältere weniger. Fraunhofer arbeitet an einer Lösung, die das Unsichtbare sichtbar macht. Ohne die Fässer zu öffnen.

Von Dr. Patrick Dieckhoff

In den 1960er-Jahren waren der Glaube an den Fortschritt durch Atomenergie groß und die Skepsis klein. Atomkraft galt als Zukunftstechnologie – unerschöpflich, sauber. Der radioaktive Abfall? Wurde erst einmal in Fässern geparkt. Rund 600 000 solcher Behälter liegen bis heute in Deutschland in diversen Zwischenlagern – manche nun seit mehr als einem halben Jahrhundert.

»Niemand weiß genau, was in diesen Fässern steckt«, sagt Hans-Dieter Hoffmann, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT. »Im besten Fall handelt es sich um Bauschutt, verstrahlte Kleidung oder andere Hinterlassenschaften aus der Frühzeit der Kerntechnik.« Kritisch wären hingegen extrem langlebige radioaktive Isotope. Oder schlicht Wasser, das durch Korrosion zu Leckagen führen kann.

Die Fässer zu öffnen, um den Inhalt so zu prüfen, wäre aufgrund der Sicherheitsrisiken und der Menge der

Fässer sehr aufwendig und mit Kosten von gut 100 000 Euro pro Fass teuer. Das Fraunhofer ILT in Aachen arbeitet deshalb in einem Verbundforschungsprojekt an einer Alternative. Strahlung sichtbar zu machen, ohne dafür einem der Atommüllfässer gefährlich nahe zu kommen – das ist die Idee hinter PLANET (»Portable Laser-driven Neutron Source for Non-destructive Testing«). Die Projektleitung hat das Unternehmen Focused Energy in Darmstadt übernommen, der Inhaber des Schlüsselpatents. Neben dem Fraunhofer ILT sind auch das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, der Maschinenbaukonzern TRUMPF, die TU Darmstadt und Bildgebungs-Experte Photonis Germany beteiligt. Rund 20 Millionen Euro des gesamten Projektvolumens in Höhe von 27,1 Millionen Euro kommen dabei aus öffentlichen Mitteln: eine der größten Förderungen des Bundes überhaupt.

Um eine zerstörungsfreie Prüfung von nuklearen Abfallbehältern zu ermöglichen, soll im Rahmen von PLA-

Unsichere Altlasten: Deutschlandweit gibt es insgesamt 16 Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle.

NET die erste lasergetriebene und zugleich maximal kompakte Neutronenquelle der Welt entstehen. Denn Neutronen sind bedeutende Helfer bei der nicht-destruktiven Materialprüfung: Sie besitzen die Fähigkeit, tief in Metalle einzudringen, sowie eine besondere Empfindlichkeit gegenüber einzelnen chemischen Elementen und Isotopen. Diese Talente prädestinieren Neutronen für den Einsatz bei bildgebenden Verfahren wie tomographischen oder radiographischen Untersuchungen.

Hightech im transportablen Format

Doch um Neutronenstrahlen zu erzeugen, sind bislang stationäre Teilchenbeschleuniger nötig – riesig, teuer, unbeweglich. Hans-Dieter Hoffmann: »Einen Neutronenstrahl auf engem Raum stabil zu erzeugen, ist eine echte Herausforderung.« Doch genau dies ist die Aufgabe von PLANET: Eine Technologie, die bislang milliardenteure Großanlagen benötigte, soll künftig in einen Container passen – und damit mobil einsetzbar sein.

Die Lösung besteht aus drei Kammern. In der ersten pulsiert ein hochfrequenter Laser bis zu hundert Mal pro Sekunde. In der zweiten Kammer trifft dieser Laserpuls auf eine regenerativ erneuerbare Fläche: das sogenannte »liquid leave«-Target. Dort entsteht ein heißes Plasma. Binnen Millimetern werden die elektrisch geladenen Teilchen auf extreme Geschwindigkeiten beschleunigt, anschließend in gerichtete Neutronen sowie Röntgenstrahlung umgewandelt und in einer dritten Kam-

mer auf den zu untersuchenden Behälter gerichtet. Mit dem so generierten Strahl lässt sich – ähnlich wie beim Röntgen – ins Innere blickdichter Objekte schauen. Ein hochsensibler Detektor übersetzt zum Schluss das Strahlensignal in ein Bild. Es offenbart, was sich im Behälter befindet – ohne Aufschrauben. Und ohne Risiko.

Die Grundlagen für diese Technologie wurden an der TU Darmstadt gelegt; jetzt gilt es, das Funktionsprinzip in ein praxistaugliches Werkzeug umzuwandeln. »Die Aufgabe unseres Institutes besteht vor allem in der Entwicklung eines leistungsstarken Laservorverstärkers«, erklärt Hoffmann. Am Ende der Projektlaufzeit im Mai 2028 soll ein Prototyp vorliegen: eine mobile Neutronenquelle, die zerstörungsfrei Container, Beton oder Fässer durchdringt. Hoffmann: »In einem solchen Gerät steckt eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten.« Als künftige Anwendungen nennt er etwa Zollkontrollen von Containern oder die Inspektion von Brücken, um etwaige Risse sichtbar zu machen. Oder eben die Analyse radioaktiver Altlasten.

Bei Focused Energy wird bereits über PLANET hinaus geplant und an einer Technologie gearbeitet, die nicht nur Neutronen für die Messtechnik erzeugt, sondern auch Fusionsenergie. In der hessischen Gemeinde Biblis in der Nähe eines abgeschalteten Atomkraftwerkes entsteht dafür eine Pilotanlage. Damit könnte der Ort, der durch

sein Kernkraftwerk landesweit bekannt wurde und in dem sich nun zwei Zwischenlager für radioaktive Abfälle befinden, vielleicht bald für einen Neuanfang stehen: für Energiegewinnung ohne Ewigkeitslasten. ■

»Einen Neutronenstrahl auf engem Raum stabil zu erzeugen, ist eine echte Herausforderung.«

Hans-Dieter Hoffmann,
Fraunhofer ILT

Mission Power-Pflaster

Im Projekt StellarHeal entwickeln Forscher eine innovative Wundversorgung für den Weltraum. Eine Idee, von der auch viele Menschen auf der Erde profitieren können.

Von Beate Strobel



Völlig losgelöst? Auch in der Schwerelosigkeit kann es zu Verletzungen kommen – die auch noch schwerer heilen.



Weiche Bewegungen, schwebende Körper, ein Vorankommen wie in Zeitlupe: Im All wirkt alles ganz leicht. Doch das täuscht: Auch in der Schwerelosigkeit verletzen sich Astronauten im Raumschiff oder an Bord der Weltraumstation ISS mitunter, etwa durch scharfe Gegenstände oder Verbrennungen. Wunden, die auf der Erde kaum mehr als Desinfektionsspray und ein Pflaster erfordern, können im Weltall schnell zum Problem werden. Strahlung schädigt die DNA und hemmt die Zellteilung, während Mikrogravitation die Zellbewegung und das Zellwachstum abbremst, was eine verzögerte Wundschließung und schlechte Narbenbildung zur Folge hat. Die Bedingungen im All schwächen außerdem die körpereigene Immunaktivität, sodass das Infektionsrisiko erhöht ist.

Erste Hilfe für den Alltag im All: In dem Projekt StellarHeal arbeitet ein Forschungsteam an den Fraunhofer-Instituten für Silicidforschung ISC und für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM an einer Art »Superpflaster« für die Wundversorgung bei Astronauten – gemeinsam mit dem Dresdner Institut für Luft- und Kältetechnik ILK und der Medizinischen Hochschule Hannover. »Das Pflaster basiert auf vier bereits bestehenden Technologien, von denen drei aus den Fraunhofer-Laboren stammen und eine vom ILK«, erklärt Projektleiter Dr. Dieter Groneberg, der am Fraunhofer ISC in Würzburg das Thema Skin-Research verantwortet. Die Idee ist, die Wunde nicht einfach mit einem schützenden Pflaster zu verschließen, sondern vorab eine spezielle Watte aufzulegen, die aus stabilisierenden Kieselgel-Fasern besteht und die Blutung stoppt. Zusätzlich wird nach dem Stoppen der Blutung die Watte mit stammzellbasierten Fibroblasten und Makrophagen angereichert, die sich in einem Schutzgel befinden. Dies enthält ausreichend Nährstoffe, sodass die Fibroblasten und Makrophagen überleben und ihrer Aufgabe nachkommen können, bevor sie an die normale Blutversorgung angedockt werden. Während Makrophagen – auch bekannt als Fresszellen – Krankheitserreger abwehren und Zellreste beseitigen sowie aktiv die Wundheilung steuern, spielen Fibroblasten eine entscheidende Rolle für die Reparatur von Gewebeschäden und beim Neuaufbau von Gewebe. Ein solches Power-Pflaster unterstützt die Heilung im All somit gleich mehrfach: Die Wunde schließt sich schneller, das Infektionsrisiko wird gesenkt und weniger Narbengewebe gebildet.

»Ein weiterer Bonus ist, dass das Nährmedium, in dem die Fibroblasten und Makrophagen eingebettet sind, kryokonserviert werden kann – also haltbar gemacht durch Einfrieren«, so Biochemiker Groneberg. »Eine Wundheilpaste, die über Jahre sicher aufbe-

wahrt werden kann, ist ein großer Vorteil für Raumstationen, die nicht mal schnell von der Erde aus versorgt werden können.«

Etwas weiter in die Zukunft gedacht, könnte die innovative Pflaster-Technologie sogar eine personalisierte Wundversorgung von Astronauten und damit eine noch bessere Heilung ermöglichen: Vor dem Start ins All müssten hierfür Körperzellen des Weltraumpersonals durch Reprogrammierung in pluripotente Stammzellen umgewandelt und diese dann als Quelle für die benötigten Fibroblasten und Makrophagen verwendet werden. Noch ein bisschen weiter in die Zukunft gedacht, könnte dies eine spannende Lösung sein, um eine Besiedelung von Mond oder Mars sicherer zu gestalten.

Aber auch auf Erden gibt es ausreichend Menschen, die von StellarHeal profitieren könnten. »Alleine in Deutschland leiden mehr als 400 000 Menschen unter chronischen Wunden, etwa infolge von Diabetes oder Dekubitus«, erklärt Dieter Groneberg. »Die Kosten für die medizinische Wundversorgung dieser Patientinnen und Patienten belaufen sich auf rund acht Milliarden Euro pro Jahr.« Gut 40 Prozent dieser Summe entstehen durch Wundversorgungsmaterial. Schätzungen zufolge werden die Kosten für chronische Wunden bis 2030 auf knapp zehn Milliarden Euro in Deutschland ansteigen.

Die Hoffnung der Forschenden ist, dass das neue Super-Pflaster hier sowohl Leid lindern als auch die Ausgaben im Gesundheitswesen senken kann. Die darin eingebetteten Makrophagen lassen sich gezielt polarisieren und so an unterschiedliche Wundheilungsszenarien anpassen, erläutert Projektleiter Groneberg: »Da Wunden im Weltall mit überschießender Narbenbildung reagieren, setzen wir hier anti-fibrotisch polarisierte Makrophagen ein, um einer übermäßigen Gewebefibrose entgegenzuwirken. Bei diabetischen Wunden, bei denen oft eine unzureichende Kollagenbildung besteht, könnten dagegen profibrotisch wirkende Makrophagen helfen, die Geweberegeneration zu fördern.«

Aktuell sind die Forschenden dabei, die einzelnen Komponenten des Weltraum-Pflasters bestmöglich zu kombinieren, bevor dann die Phase der klinischen Tests startet. Der interdisziplinäre Ansatz des StellarHeal-Projekts – also die Kombination von Materialwissenschaft, Biotechnologie und Kryotechnologie – hat die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR bereits überzeugt: Bei den »INNOspace Masters 2024« der Organisation belegte das Forschungskonsortium von Fraunhofer und ILK Dresden in der Kategorie DLR Challenge 2024 »Applied Research for Disruptive Innovation« Platz 1. Und galt damit schon zu Projektbeginn als galaktisch gut. ■

Gründen mit Fraunhofer: **Aus der Wissenschaft in die Wirtschaft**

Kaviar 2.0

Fischstäbchen aus dem Labor statt Überlastung der Meere: Das Fraunhofer-Spin-off BLUU Seafood will mit den Mitteln der zellulären Proteinproduktion den Ozeanen wieder etwas Luft verschaffen.

Von Beate Strobel



Als Sebastian Rakers seinen ersten Löffel Fischzellen probierte, stand er in der Testküche der gerade gegründeten Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie EMB in Lübeck. Geschmack und Struktur der Zellmasse waren noch nicht optimal, auch das für ein Fischgericht typische Mundgefühl fehlte. Und doch ist dieser Bissen dem promovierten Meeresbiologen seit dem Jahr 2008 als ein ganz besonderer Moment in Erinnerung geblieben: »Ich war fasziniert, weil es nicht nur nach Fisch schmeckte, sondern ich sogar riechen konnte, dass die Zellen von einer Forelle stammten.«

»Anwendungspotenzial multipotenter Stammzellen aus der Regenbogenforelle« lautete der Titel der Doktorarbeit, an der Sebastian Rakers zu dem Zeitpunkt an der Fraunhofer EMB (seit 2020 Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE) schrieb. Da-

mals, erinnert er sich, noch mit dem Ziel, die Nutzung dieses besonders variablen Zelltypus etwa für medizinische Zwecke zu untersuchen. »Stammzellen einzusetzen für die Produktion von Lebensmitteln, galt als ein eher extravaganter Forschungsansatz.«

Tierische Proteine aus dem Bioreaktor, emissionsarm, schadstofffrei, umwelt- sowie tierfreundlich und sogar schmackhaft: »Diese Vision hat mich seitdem nicht mehr losgelassen«, sagt Rakers. Er hat sie zur Realität gemacht. Im Mai 2020 gründete Sebastian Rakers gemeinsam mit Simon Fabich das Unternehmen BLUU Bioscience (heute: BLUU Seafood) – Europas erstes Biotech-Start-up, das sich auf die Kultivierung von Fisch und Meeresfrüchten spezialisiert hat. Für ein Start-up ein sehr mutiger Zeitpunkt, weil es noch gar kein Produkt gab. Auch passende Technologien für eine Herstellung von zellbasiertem Fisch im industriellen Maßstab fehlten.

Oder wie Rakers es ausdrückt: »Wir haben uns dafür entschieden, das Flugzeug zu bauen, während wir es fliegen.«

Bereits in der ersten Finanzierungsrunde können die Entrepreneure sieben Millionen Euro einsammeln. »Unsere Idee hat einfach den Nerv der Zeit getroffen«, urteilt Sebastian Rakers. »Aber auch mein Fraunhofer-Hintergrund hat da sicher geholfen. Die Investoren konnten sich darauf verlassen, dass unser Vorhaben nicht nur eine schöne Story ist, sondern wissenschaftlich fundiert.«

Als passionierter Taucher liebt Dr. Sebastian Rakers das Meer und seine Bewohner. Und er weiß, wie sehr dieses Ökosystem aktuell leidet: 37 Prozent der kommerziell genutzten Fischbestände weltweit gelten als überfischt, 50 Prozent als gerade noch nachhaltig genutzt (Stand 2024). Der Hunger nach Fisch und Meeresfrüchten ist rapide gestiegen von knapp 20 Millionen Tonnen Wildfang pro Jahr in 1950 auf 91



Meer für morgen:
Dr. Sebastian Rakers
ist Gründer von BLUU
Seafood.

»Unsere
Idee hat
einfach
den Nerv
der Zeit
getroffen«

Genuss mit gutem Gewissen:

Für die Produkte des Biotechnologie-
Start-ups BLUU Seafood müssen
keine Fische leiden.

Millionen Tonnen in 2022. Hinzu kommen, Stand 2022, inzwischen 94,4 Millionen Tonnen aus Aquakulturen.

Zellbasierter Fisch könnte den Druck auf die Weltmeere entlasten und dazu beitragen, dass sich die Bestände wieder etwas erholen. Die Grundlagen dafür hatte Sebastian Rakers in seiner Zeit bei der Fraunhofer EMB gelegt, indem er Fischzellen aus dem Muskelgewebe von Forelle und Lachs isolierte – sogenannte Vorläuferzellen oder Stammzellen, die sich kontinuierlich teilen und nicht altern. Bei -197 Grad Celsius in flüssigem Stickstoff deponiert, lassen sie sich beliebig lange konservieren. Aufgetaut und in Bioreaktoren in einer speziellen Nährflüssigkeit gelagert, vermehren sich die Zellen durch die ganz natürliche Zellteilung – und das inzwischen auch dreidimensional. Nach der »Ernte« kann das Fischfleisch dann – ergänzt durch pflanzliche Proteine – weiterverarbeitet werden, etwa zu Fischstäbchen oder Fischbällchen.

»Solche Hybrid-Produkte sind für uns aber nur der Einstieg«, sagt Zellbiologe Rakers. »Das Ziel ist schon, eines Tages ein zellbasiertes Fischfilet auf den Teller zu bringen.«

Von Hamburg über Singapur und die USA in den EU-Markt

Die Loslösung von der Fraunhofer EMB geschah schrittweise: »Ich konnte mit den Zelllinien arbeiten, die ich bei Fraunhofer entwickelt hatte«, erzählt Rakers. Die ersten Räume von BLUU Seafood lagen noch in fußläufiger Entfernung zur Fraunhofer-Einrichtung in Lübeck, geforscht wurde immer wieder in gemeinsamen Projekten. Zwei Patente wurden so in den vergangenen fünf Jahren eingereicht. Inzwischen betreibt das junge Unternehmen eine eigene Pilotproduktionsanlage für zellbasierten Fisch in Hamburg. Und die Reaktoren fassen nicht mehr fünf, sondern 500 Liter Nährflüssigkeit. Nicht

ohne Stolz sagt Rakers: »Jetzt können wir auf eigenen Beinen stehen.« 2024 belegte sein Start-up den zweiten Platz beim Deutschen Gründerpreis.

Anderes hingegen ging viel langsamer als erhofft. Zu Beginn hatte man noch geplant, 2023 mit einem ersten Produkt auf den Markt zu gehen. Doch die Zulassung von zellbasiertem Fisch für die Lebensmittelproduktion gestaltet sich komplizierter als gedacht. Immerhin: In Singapur, einem besonders innovationsfreundlichen Markt, steht das Unternehmen nun kurz vor der behördlichen Genehmigung, das »Go« für die USA will sich BLUU Seafood noch vor dem Genehmigungsverfahren in Europa abholen. »Die EU ist so etwas wie der Goldstandard, das ist noch einmal mit einem deutlich größeren Aufwand verbunden«, erzählt Rakers. »Bis unsere Produkte in deutschen Supermarktregalen liegen, könnte es also noch ein wenig dauern.«

Die Entscheidung, das Fraunhofer-Labor zu verlassen und sein eigener Chef zu werden, hat Rakers bislang nicht bereut, auch wenn der psychische Druck gerade in der ersten Gründungsphase immens war. Der Wissenschaftler suchte sich damals ein regelmäßiges professionelles Coaching, »das hat mir geholfen, die Bodenhaftung zu behalten und eine mentale Resilienz aufzubauen«. Anstatt sich geistig mit Worst-Case-Szenarien zu beschäftigen, blickt er nun lieber auf die Haben-Seite. Und freut sich beispielsweise darüber, dass bei BLUU Seafood inzwischen 30 Menschen arbeiten, »die nicht nur Spaß im Job haben, sondern auch die Vision, die Welt mit dem, was wir hier entwickeln, ein Stückchen besser zu machen«.

Das erste Produkt, mit dem BLUU Seafood auf den Markt kommen will, wird wohl ein zellbasierter Kaviar sein, »ein Premiumprodukt, das große Margen erlaubt«. Rakers hat ihn bereits verkostet. Und konnte dabei ganz direkt schmecken, welchen Weg er kulinarisch seit seinem ersten Probierlöffel mit Forellenzellmasse zurückgelegt hat. »Ich bin kein Kaviarkenner«, sagt er. »Doch wenn mir ein Kaviar-Distributor sagt, er habe noch nie ein so gutes Alternativprodukt gegessen, dann ist das wie ein Ritter Schlag – und absolut fantastisch!« ■

Energiewende

Nachhaltige Batterien für das Elektroauto von morgen

Batterien spielen eine Schlüsselrolle in der Transformation hin zu einer klimaneutralen Zukunft. Doch wie lassen sich leistungsstarke Energiespeicher kostengünstiger und energieeffizienter in Deutschland produzieren? Das patentierte DRYtraec®-Verfahren setzt neue Maßstäbe in der Batteriezellenproduktion.

Von Ulla Wolfshöfer

Für die deutsche Automobilbranche ist eine hochwertige und kostengünstige Produktion von Batteriespeichern mit gesicherten Lieferketten entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit. Produktionskapazitäten von Batteriezellen befinden sich in Europa allerdings noch im Aufbau. Die Abhängigkeit von asiatischen Technologiekonzernen ist hoch, denn die bisherigen Produktionsverfahren sind energie- und kostenintensiv.

Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden hat mit DRYtraec® (Dry transfer electrode coating) ein neuartiges Verfahren entwickelt, das eine kosteneffiziente und umweltfreundliche Herstellung von Batterieelektroden ermöglicht. Für diese zukunftsweisende Technologie wurden Dr. Benjamin Schumm, Dr. Holger Althues und Prof. Stefan Kaskel mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2025 ausgezeichnet.

Neuartiges DRYtraec®-Verfahren für Batteriezellenproduktion

Elektroden sind ein zentraler Baustein jeder Batterie und bestehen in der Regel aus einer Metallfolie, die mit einer dünnen Beschichtung überzogen ist. Die Beschichtung enthält die aktiven Komponenten, die für die Energiespeicherung verantwortlich sind. »Üblicherweise erfolgt der

»Mit DRYtraec® bieten wir einen vielversprechenden Ansatz mit doppeltem Vorteil.«

Prof. Stefan Kaskel,
Fraunhofer IWS

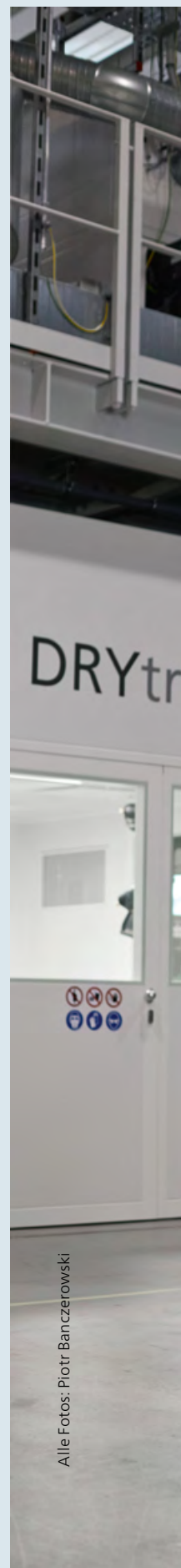
Beschichtungsprozess nass-chemisch mit sogenannten Slurry-Ansätzen«, erklärt Dr. Benjamin Schumm, Abteilungsleiter Partikeltechnik am Fraunhofer IWS. »Die

DRYtraec®-Technologie erlaubt es, eine Elektrodenschicht direkt aus einem Trockengemisch herzustellen – bestehend aus Aktivmaterial, Leitrüß und Binder.« Im Gegensatz zum konventionellen Slurry-Verfahren wird dabei kein Lösemittel eingesetzt. Außerdem entfällt der energieintensive Trocknungsschritt. Eine spezielle Walzenvorrichtung wirkt Scherkräfte auf das Trockengemisch aus und verankert so die Partikel des Aktivmaterials und des Leitrüßes durch Fibrillierung des Bindemittels mechanisch. Die energie- und platzaufwendige Trocknung entfällt. Zudem lassen sich beide Sei-

ten der Elektrode gleichzeitig beschichten. Die lösemittelfrei hergestellten DRYtraec®-Elektroden weisen eine herausragende Leistungsfähigkeit und Stabilität auf – ohne Einbußen gegenüber Slurry-basierten Elektroden.

Patentierte Technologie mit Zukunftspotenzial

Der einzigartige methodische Ansatz des walzenbasierten Trockenfilm-Transferprozesses minimiert Produktionsrisiken und erleichtert die Skalierung zu größeren Beschichtungsbreiten und höheren Prozessgeschwindigkeiten. Die weltweit erste Prototypanlage wurde bereits 2013 konstruiert und die Technologie seitdem stetig wei-



Alle Fotos: Piotr Banczerowski

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2025

Forschungs- preise

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

Das DRYtraec®-Verfahren ist auch für die wichtigen Batterietechnologien der Zukunft geeignet, wie etwa die Natrium-Ionen- oder die Feststoffbatterie.«

Prof. Stefan Kaskel,
Fraunhofer IWS

terentwickelt. Die Anlage ermöglicht die kontinuierliche Prozessführung und Herstellung qualitativ hochwertiger Elektroden im Rolle-zu-Rolle-Verfahren. »Wir haben für DRYtraec® eine F&E-Plattform realisiert, die Industriekunden entlang der Wertschöpfungskette ein breites Angebot von der Erprobung bis zum Transfer in die kommerzielle Nutzung bietet. Mit der Lizenzierung der Technologie an ein führendes Unternehmen der europäischen Automobilindustrie ebnet dies den Weg zur weiteren Skalierung bis zur Massenproduktion«, erläutert Dr. Holger Althues, Abteilungsleiter Batteriewerkstoffe am Fraunhofer IWS.

Das DRYtraec®-Verfahren ist auch für die wichtigen Batterietechnologien der Zukunft geeignet, wie etwa die Natrium-Ionen- oder die Feststoffbatterie. Die »Drop-in-Fähigkeit« zur Elektrodenherstellung wurde für diese Zellsysteme nachgewiesen. Prof. Stefan Kaskel, Technologiefeldleiter Batterietechnik am Fraunhofer IWS, erklärt: »Den Prozess haben wir zunächst für Elektroden von Lithium-Ionen-Batterien umgesetzt und inzwischen für Lithium-Schwefel- und für Feststoffbatterien angepasst. Diese werden in Zukunft eine immer größere Rolle spielen, jedoch leidet die Leistungsfähigkeit der Materialien unter einer nass-chemischen Verarbeitung. Mit DRYtraec® bieten wir einen vielversprechenden Ansatz mit doppeltem Vorteil.«

Die patentierte DRYtraec®-Technologie ist inzwischen als Standardverfahren für die Trockenbeschichtung etabliert. Damit trägt Fraunhofer maßgeblich zur Sicherung des Automobilstandorts Deutschland bei und unterstreicht die hohe Bedeutung der Produktionstechnologie als wesentliche Wertschöpfung in der Transformation der Mobilität. ■

Dr. Benjamin Schumm, Prof. Stefan Kaskel und Dr. Holger Althues (v. l.) vom Fraunhofer IWS ebnen den Weg für eine leistungsfähige Batteriezellfertigung in Europa.

Videokodierung JPEG XS

Zukunftsweisender Standard für »All-IP«-Videoproduktion

Die Bildqualität von Videos ist in den letzten Jahrzehnten immer besser geworden. Das heißt aber auch: Es gibt mehr Daten, die in der Produktion übertragen werden müssen. Die Lösung: das Videokompressionsformat JPEG XS.

Von Ulla Wolfshöfer



Schneller und einfacher High-Quality-Videos produzieren: Ein neuer Kompressionscodec macht's möglich. Entwickelt haben ihn Dr. Thomas Richter, Dr. Joachim Keinert und Prof. Siegfried Föbel (v. l.) vom Fraunhofer IIS.

Der Kosten- und Zeitdruck bei der Herstellung von professionellen TV- und Filminhalten wächst, immer mehr Medienkanäle und -plattformen entstehen. High-Quality Video muss auf verschiedenste Bildschirme innerhalb einer vernetzten Produktion übertragen werden, bis schlussendlich der fertige Film erzeugt werden kann. Bisherige Videocodecs nehmen bei der Übertragung von Produktionsdaten größere Verzögerungszeiten oder Qualitätsverluste in Kauf beziehungsweise konzentrieren sich auf die Distribution an die Kundinnen und Kunden. Außerdem wird mehr Rechenleistung bei der mehrfachen Dekodierung der Daten benötigt, was den Einsatz teurer Hardware erforderlich macht und zu einem höheren Energiebedarf führt. VR-Brillen oder Anwendungen in Automotive und Machine Vision haben Echtzeitanforderungen, an denen herkömmliche Videocodecs häufig noch scheitern.

Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen hat mit JPEG XS ein hochmodernes und zukunftsweisendes Bildkompressionsformat entwickelt, das qualitativ hochwertige Bilder mit minimaler Latenzzeit und geringem Ressourcenverbrauch in der Produktions- und Studioumgebung mit nahezu verlustloser Bildqualität überträgt. Für dieses innovative Projekt wurden Prof. Siegfried Föbel, Dr. Joachim Keinert und Dr. Thomas Richter mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2025 ausgezeichnet.

Entwicklung von JPEG XS als neuer ISO-Standard

Professionelle Videos in höchster Qualität wurden bisher unkomprimiert über spezielle Schnittstellen wie SDI (Serial Data Interface), Coaxpress oder LVDS (Low Voltage Differential Swing) übertragen, was eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit Koaxial- oder Twisted-Pair-Kabeln erforderte. Eine Kompression der Daten war aufgrund der sehr hohen Qualitätsanforderungen bei gleichzeitig hohen Datenraten nicht möglich, ein komplexes Übertragungsprotokoll wurde vermieden. Dies führte zu Übergabepunkten mit leistungsstarken Umsetzern zu Ethernet-Rechnern, was Arbeitsabläufe verzögerte. »Klassische Codecs aus dem MPEG-Bereich sind für diese Anwendung ungeeignet, da sie auf hohe Kompressionsraten bei ak-

zeptabler Qualität abzielen. JPEG XS hingegen wurde als professioneller Kompressionscodec – sogenannter Mezzanine-Codec – entwickelt, um die Übertragung von hochwertigen Videos bis zu 8k in Produktionsqualität über Internet Protocol (IP) zu ermöglichen«, erklärt Dr. Joachim Keinert, Gruppenleiter Computational Imaging am Fraunhofer IIS.

JPEG XS erreicht eine vielfache Beschleunigung bei der En- und Decodierung von Bildern. In der Film- und Fernsehproduktion ermöglicht JPEG XS so die effiziente Übertragung und Verarbeitung von Bildinhalten. »Die

geringe Verzögerungszeit und hohe Parallelisierbarkeit machen JPEG XS zu einem idealen Werkzeug für die mehrstufige Verarbeitung von Videosignalen in Echtzeit. Der Codec ist optimiert für die visuell verlustlose Kompression und unterstützt eine Farbtiefe von 12 bis 16 Bit, wodurch auch Videosignale mit hohem Dynamikumfang und Sensorsignale wie Raw Bayer übertragen werden können«, erläutert Dr. Thomas Richter, Chief Scientist am Fraunhofer IIS.

Mit einem umfassenden Software- und Patentportfolio hat das Fraunhofer IIS einen international anerkannten Standard etabliert. »Der neue Standard wurde als Visual Lossless Codec entwickelt, der

speziell auf die Bedingungen der High-Quality-Videoübertragung Rücksicht nimmt. Dank seiner ausgeklügelten Algorithmik ist JPEG XS in bestehende Computersysteme integrierbar und kann hochaufgelöste Bilder über eine kostengünstige Ethernet-Schnittstelle ohne sichtbare Verzögerung übertragen. Diese Netzwerktechnologie ist weit verbreitet und erleichtert die nahtlose Integration in bestehende Infrastrukturen«, erklärt Prof. Siegfried Föbel, Abteilungsleiter Bewegtbildtechnologien am Fraunhofer IIS.

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten

JPEG XS bietet neben der technologischen Alleinstellung der Übertragung höchstqualitativer Bilder enorme wirtschaftliche Vorteile für Studioteknik, aber auch für weitere Bereiche wie Machine Vision und Automotive. Gerade im Bereich des autonomen Fahrens zeigt JPEG XS signifikante Vorteile, indem die Datenrate der Kamera- vernetzung reduziert wird und die Auswerteleistung in Echtzeit nahezu erhalten bleibt. ■

»JPEG XS ist in bestehende Computersysteme integrierbar und kann hochaufgelöste Bilder ohne sichtbare Verzögerung übertragen.«

Prof. Siegfried Föbel,
Fraunhofer IIS

Aluminiumproduktion

Einschlüsse sicher erkennen mit Ultraschall

Bei der Verarbeitung von Aluminium ist eine hohe Materialqualität entscheidend – doch Verunreinigungen in der Schmelze ließen sich bislang nicht gleichermaßen zuverlässig, schnell und kostengünstig aufspüren. Die Lösung: ein ultraschallbasiertes flexibles Messsystem.

Von Lisa Scherbaum

Große, schwer zugängliche Gerätschaften und hohe Temperaturen: Die Bedingungen in Gießereien sind extrem. Für die Arbeit mit flüssigem Metall braucht es bei Mensch und Maschine hohe Flexibilität und Widerstandskraft. Diesen Bedingungen stellte sich ein Forschungsteam des Fraunhofer-Instituts für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, als Kunden aus der Aluminiumbranche es mit dem Wunsch nach einem neuen Messsystem zum Nachweis von Verunreinigungen in der Metallschmelze kontaktierten – ein wichtiges Werkzeug während des Produktionsprozesses. Für die Entwicklung des innovativen, ultraschallbasierten Messsystems »AloX« wurden Dr.-Ing. Thomas Waschkies und Andrea Mroß nun mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2025 ausgezeichnet.

Sicherheitsrisiko Verunreinigungen

»Die Reinheit der Schmelze, deren Temperatur zwischen 600 und 800 Grad Celsius beträgt, ist enorm wichtig für das spätere Endprodukt. Die in der Schmelze vorhandenen keramischen Partikel beispielsweise verflüssigen sich erst oberhalb von 2000 Grad und bleiben als Einschlüsse im fertigen Bauteil erhalten, wenn sie nicht gezielt entfernt werden. Das kann zu Rissen sowie Löchern und damit im schlimmsten Fall zum Versagen von Bauteilen führen«, so Thomas Waschkies, Chief Scientist Sensorphysik am Fraunhofer IZFP. Von Beginn an leitete er das Projekt gemeinsam mit seiner Kollegin Andrea Mroß, die heute an dem Saarbrücker Institut im Bereich Strategie und Forschungsprogrammatik tätig ist.

Aluminium ist nach Stahl das am häufigsten verwendete Metall weltweit und spielt unter anderem durch seinen Einsatz im Leichtbau eine große Rolle für die Klimaneutralität. Zudem lässt es sich mit geringem Ener-

gieaufwand wiederaufbereiten und leistet so einen hohen Beitrag für die Kreislaufwirtschaft. Zur Qualitätskontrolle von Aluminiumschmelze sind bereits unterschiedliche Messsysteme auf dem Markt, die allerdings entweder teuer, nur durch Fachleute bedienbar oder sehr zeitaufwendig sind und daher nur eine stichprobenartige Kontrolle erlauben. Die Industrie benötigt also ein günstiges, ohne Spezialwissen bedienbares System, das ein schnelles Endergebnis liefert und flexibel in Gießereien einsetzbar ist.

Ultraschallbasiertes Messsystem

Vor diesem Hintergrund entstand am Fraunhofer IZFP die Idee eines mobilen, ultraschallbasierten Messsystems für die Aluminiumschmelze. Die Funktionsweise von AloX lässt sich anhand eines Alltagsbeispiels erklären: »Das System funktioniert analog zu einem Parksensoren im Auto: Das in die Schmelze eingetauchte System sendet Signale, die von einem Reflektor zurückgeworfen werden. Schwimmen Partikel vorbei, also Verunreinigungen, entstehen Störsignale«, so Andrea Mroß. Diese ermöglichen es, direkt vor Ort in die Produktion einzugreifen und so die Qualität zu sichern.

Die Herausforderung bei der Entwicklung des Systems lag vor allem in den extremen Bedingungen am Einsatzort Gießerei: Die heiße Schmelze erzeugt eine sehr hohe Wärmestrahlung, von der neben dem System selbst auch die gesamte tragende Einheit betroffen ist. Darüber hinaus ist Aluminiumschmelze stark korrosiv, greift also metallische Werkstoffe an. Im engen Austausch mit der Industrie entwickelte das Team schließlich einen ersten Prototypen: Der Messwagen verfügt über eine Messeinheit mit speziellen Ultraschallwellenleitern und integrierter Kühlung sowie über eine eigens entwickelte Software

mit patentiertem Auswertalgorithmus. Auch der Wechselmechanismus für die aus Titan bestehenden Ultraschallwellenleiter ist inzwischen patentiert.

Aktuell arbeitet das Team an »AloX 2.0«, das im Vergleich zum ersten System einige Verbesserungen bietet. Ein Faktor ist jedoch gleich geblieben: Nahezu alle Komponenten sind Eigenentwicklungen des Fraunhofer IZFP. »Von den Ultraschallsensoren über die Auswertungssoft-

ware und Elektronik bis zur Mechanik des Gehäuses: »AloX« ist ein Gesamtpaket aus einer Hand«, fasst Andrea Mroß zusammen. Im nächsten Schritt steht für die Forschenden die breite industrielle Anwendung des Systems am Horizont – zunächst in der Aluminiumherstellung. Doch auch weitere Einsatzzwecke sind denkbar, etwa zur Qualitätskontrolle anderer Metallschmelzen oder bei der Produktion von Klebstoffen und Lebensmitteln. ■

Andrea Mroß und Dr.-Ing. Thomas Waschkies mit dem mobilen Messsystem »AloX«, das die Aluminiumschmelze auf problematische Partikel untersucht.



»Die Reinheit der Schmelze, deren Temperatur zwischen 600 und 800 Grad Celsius beträgt, ist enorm wichtig für das spätere Endprodukt.«

Dr.-Ing. Thomas Waschkies, Fraunhofer IZFP



Institutsübergreifende Zusammenarbeit: Frank Neumann, Ricarda-Laura Sack, Dr. Joachim Koschikowski und Dr. Simone Kondruweit-Reinema (v. l.) ermöglichen mit »PreCare« Gesundheitsversorgung auch in abgelegenen Gebieten. Dafür erhielt das Team den Preis »Innovations for a Better Future«, der 2025 das erste Mal verliehen wurde.

**Preis der Fraunhofer-
Zukunftsstiftung**

**»Innovations for
a Better Future«**

Medizinische Versorgung

Gesundheitsplattform für Geländewagen

Um die ärztliche Betreuung in entlegenen Gebieten zu verbessern, hat ein Team am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST sowie am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE eine mobile Gesundheitsplattform für Geländewagen entwickelt.

Von Lisa Scherbaum

Weltweit gibt es in entlegenen Regionen wie Subsahara-Afrika keine flächendeckende medizinische Versorgung. Dies liegt neben der eingeschränkten Mobilität durch schlechte Wegenetze und fehlende Transportmittel auch am kaum verfügbaren medizinischen Personal. In vielen afrikanischen Ländern behandelt oft nur ein Arzt oder eine Ärztin 10 000 Menschen. Zum Vergleich: In Deutschland versorgen im Schnitt 44 Ärzte oder Ärztinnen 10 000 Personen. Um dies zu verbessern, haben Forschende eine robuste Gesundheitsplattform entwickelt, die auf Ladeflächen geländegängiger Pick-ups aufgesetzt wird und auf engstem Raum die Infrastruktur für Untersuchungen bietet. Auch unwegsame Sand- und Schotterpisten sind kein Hindernis mehr, um gut ausgestattetes Fachpersonal zu Patientinnen und Patienten zu bringen. Für diese Lösung erhielten Frank Neumann, Dr. Joachim Koschikowski, Dr. Simone Kondruweit-Reinema und Ricarda-Laura Sack den Preis »Innovations for a Better Future« 2025 der Fraunhofer-Zukunftsstiftung.

Medizinische Grundausstattung plus technologische Innovation

»Unsere Plattform ermöglicht Gesundheitsvorsorge für alle und überall«, fasst Frank Neumann, Teamleiter Photo- und elektrochemische Umwelttechnik am Fraunhofer IST und Projektkoordinator, zusammen. Auf der Plattform werden elektrische Geräte, etwa die integrierte Kühlung für Medikamente, Impfstoffe und Blutproben, mit einer unabhängigen Stromversorgung über Photovoltaik und Batteriespeicher betrieben. Auch eine Trinkwasseraufbereitungsanlage befindet sich an Bord. Eine Vorrichtung, die auf diamantbeschichteten Elektroden basiert, ermöglicht unterwegs die Herstellung von Desinfektionsmitteln aus einfacher Natriumchlorid-Lösung. Für den Abgleich von Behandlungsdaten und für telemedizinische Dienste kann ein Kommunikationssystem über Satelliten- oder Mobilfunknetze integriert werden. Diagnostik wie Röntgen- und Ultraschallgeräte lassen sich ergänzen.

Flexible Konstruktion für individuelle Bedürfnisse

»Unsere Lösung ist flexibel und modular. So können auch Menschen in unterentwickelten Regionen am technischen Fortschritt teilhaben«, erklärt Dr. Joachim Koschikowski, Gruppenleiter Wasseraufbereitung und Stofftrennung am Fraunhofer ISE. Zudem ist die mobile Gesundheitsplattform kostengünstig, da sie auf gewöhnliche Pick-ups aufgesetzt wird und schon mit einem Fah-

»Unsere Lösung ist flexibel und modular. So können auch Menschen in unterentwickelten Regionen am technischen Fortschritt teilhaben.«


Dr. Joachim Koschikowski, Fraunhofer ISE

rer oder einer Fahrerin und einer medizinischen Fachkraft gut betrieben werden kann. Ricarda-Laura Sack, am Fraunhofer ISE während des Aufbaus des ersten Prototyps tätig und in Südafrika verantwortlich für Schulung und Fernwartung, erklärt: »Wichtig sind uns die einfache Bedienung und der geringe Wartungsaufwand. Ziel ist es, mit nur einer Schulung das Personal fit für den eigenständigen Betrieb zu machen – eine praktikable Lösung, selbst für Organisationen mit begrenztem Budget.«

Feste Verwurzelung durch lokales Netzwerk

Das Projekt zeichnet sich durch die intensive Zusammenarbeit mit zahlreichen Akteuren vor Ort aus. Der erste Prototyp wurde 2023 an eine NGO in Südafrika übergeben. Eine Förderung der Fraunhofer-Zukunftsstiftung ermöglichte anschließend die Entwicklung eines zweiten Prototyps, der nun von einer NGO in Namibia betrieben wird. Bereits frühzeitig wurden lokale Partner in der Gesundheitsvorsorge, der Forschung sowie dem Systembau und der Logistik in Subsahara-Afrika einbezogen. Herstellung, Vertrieb und Wartung übernimmt mittlerweile das im Rahmen des Projekts ausgegründete Unternehmen S Mile Solutions (Pty) Ltd – das erste Fraunhofer-Spin-off in Südafrika. »Wir wollen Hightech langfristig und niederschwellig vor Ort verfügbar machen – in Afrika für Afrika«, betont Frank Neumann.

Um die Technologie weiterzuentwickeln und noch stärker in den Alltag der Menschen zu integrieren, setzt das Team auf neue Kooperationen vor Ort. »Das System ist universell und bietet das Potenzial, noch mehr technische Geräte zu integrieren«, erläutert Dr. Simone Kondruweit-Reinema, Leiterin Marketing und Kommunikation am Fraunhofer IST und zuständig für das Kommunikations- und Marketingmanagement des Projekts. Auch die Anpassung für Bereiche wie die Katastrophenhilfe oder die Tiermedizin in Wildreservaten ist denkbar. ■



Jetzt wird's klebrig:
Fraunhofer-Forschende
entwickeln einen umwelt-
freundlichen Leim.

Clever kleben

Stärke kann so einiges – auch umweltfreundlich kleben. Für die industrielle Fertigung von Faltschachteln lässt sich konventioneller Stärkeleim bislang jedoch nicht nutzen. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP arbeiten an einer Lösung.

Von Yvonne Weiß

Stärke ist vielseitig. Das Biopolymer dient nicht nur bei der Herstellung von Lebensmitteln als Hilfsstoff. Etwa 40 Prozent der Produktion in Europa fließen in technische Anwendungen, zum Beispiel für die Herstellung von Papier, Farben und Textilien. Auch als biobasierter Klebstoff wird Stärke eingesetzt, etwa bei der Produktion von Wellpappe oder bei der Verklebung von Papiersäcken und Etiketten. Für die Herstellung von Faltschachteln auf modernen, schnelllaufenden Produktionsmaschinen lassen sich konventionelle Stärkeleime bislang jedoch nicht nutzen, weshalb die Industrie auf erdölbasierte, synthetische Klebstoffe zurückgreift. Das soll jetzt anders werden.

»Wir optimieren bestehende Stärkeprodukte so, dass sie mit der heutigen Produktionstechnologie für Faltschachteln kompatibel sind«, beschreibt Dr. Jens Buller, Leiter der Abteilung Stärkemodifikation und molekulare Eigenschaften am Fraunhofer IAP, das Ziel des Projekts. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickelt der Wissenschaftler einen umweltfreundlichen Stärkeleim aus nachwachsenden Rohstoffen, mit dem sich Faltschachteln, die für Produkte wie Müsli oder Medikamente hergestellt werden, verkleben lassen – und will damit nachhaltige Verpackungslösungen für die Industrie schaffen.

»Wenn er aus der Düse kommt, darf der Klebstoff selbst bei hohen Geschwindigkeiten nicht spritzen, keine Fäden ziehen und muss exakt auf dem Verpackungsmaterial appliziert werden«, beschreibt Jens Buller die Herausforderung. »Im Projekt optimieren wir neben der Klebkraft daher das Fließverhalten des Leims, das bei her-

kömmlichen Stärkelösungen ein Problem darstellt.« Dafür haben die Forschenden zunächst verschiedene Arten modifizierter Stärke untersucht, die später als Bindemittel im Klebstoff fungiert, und ausgewählte Sorten weiter modifiziert. Um das Auftragsverhalten zu optimieren, eine langfristige Stabilität des Leims zu gewährleisten und ein mögliches Nachdicken zu verhindern, wurde die modifizierte Stärke in einem nächsten Schritt mit weiteren biobasierten Additiven gemischt. Wie gut sich der Klebstoff auftragen lässt, haftet und sich abbindet, haben die Industriepartner bereits auf unterschiedlichen Kartonarten getestet.

Jens Buller freut sich über die ersten Ergebnisse: »Bei einer Laufbandgeschwindigkeit von bis zu 300 Metern pro Minute konnten wir unseren Klebstoff bereits erfolgreich auftragen. Für die meisten Anwendungen ist das ausreichend.«

Aktuell arbeiten die Forschenden daran, den Klebstoff sogar bei Geschwindigkeiten von bis zu 500 Metern pro Minute aufbringen zu können, um eine noch breitere Anwendung zu ermöglichen. Zudem optimieren sie die Stabilität des Leims, der momentan noch leicht nachdickt. Ein großer Feldversuch ist in der letzten Phase des Projekts in diesem Jahr geplant.

Jens Buller blickt optimistisch in die Zukunft: »Mich motiviert die Vorstellung, einen biobasierten Klebstoff in die industrielle Fertigung zu bringen, der das Recycling von Faltschachteln verbessert und zugleich lebensmittelkonform ist.« So ließe sich Verpackungsmüll reduzieren. Und die Umwelt? Gleich doppelt schonen. ■

»Bei einer Laufbandgeschwindigkeit von bis zu
300 m/min
 konnten wir unseren
 Klebstoff bereits erfolgreich
 auftragen. Für die meisten
 Anwendungen ist das
 ausreichend.«

Dr. Jens Buller, Fraunhofer IAP

Foto & Fraunhofer

Palettenweise Daten

Das Fundament der Weltwirtschaft besteht aus exakt elf Brettern, neun Klötzen und 78 Nägeln. Normiert in den 1960er-Jahren auf die Maße 1200 x 800 x 144 Millimeter, sind laut Schätzung der European Pallet Association (EPAL) inzwischen mehr als 650 Millionen EPAL-Paletten im Umlauf, um Güter von A nach B zu bringen.

Als Logistiker weiß Julian Brandt die bekannten Vorzüge der Europalette natürlich zu schätzen. Doch in ihr stecke noch viel ungenutztes Potenzial, konstatiert der wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML: »Es gibt keinen Ladungsträger, der tiefere Einblicke in den Warenfluss liefern könnte als die Palette. Denn die kommt herum – und zwar branchenübergreifend.«

Um diesen Mehrwert zu heben, startete das Fraunhofer IML 2024 unter der Leitung von Brandt die Machbarkeitsstudie Pal2Rec (»Pallet to Recognition«): Über Sensoren erfassen die Forschenden in einer Versuchsreihe sämtliche Beschleunigungen, Bremsungen, Kipp- und Drehbewegungen einer Demonstrator-Palette und trainierten damit eine Künstliche Intelli-

genz, sodass sie typische Paletten-Aktivitäten allein anhand des Datenmusters erkennen und ein detailliertes Bewegungsprofil erstellen kann.

Während bisherige IoT-Sensoren lediglich übermitteln, dass eine Palette um 12:40 Uhr bewegt wurde, liefert die KI eine tiefergehende Dateninterpretation inklusive Abgleich des Ist- mit dem Soll-Prozess: Die Palette wurde um 12:40 Uhr von einem Gabelstapler aufgenommen, 50 Meter weit transportiert und anschließend planmäßig in ein Regal eingelagert – ohne Zwischenfälle. Brandt: »Logistische Prozesse erhalten dadurch echte Transparenz. Verbessern kann ich nur, was ich verstehe – und verstehen kann ich nur, was transparent ist.«

Spannend ist das etwa für Unternehmen, die intralogistisches Optimierungspotenzial heben möchten, sowie für Paletten-Pooling-Anbieter, die derlei als Service offerieren wollen. Aber auch Maschinen- und Anlagenbetreiber könnten profitieren: Mithilfe der KI lassen sich Schwachstellen frühzeitig identifizieren und – Stichwort vorausschauende Wartung – Schädigungen sowie Ausfallzeiten minimieren.

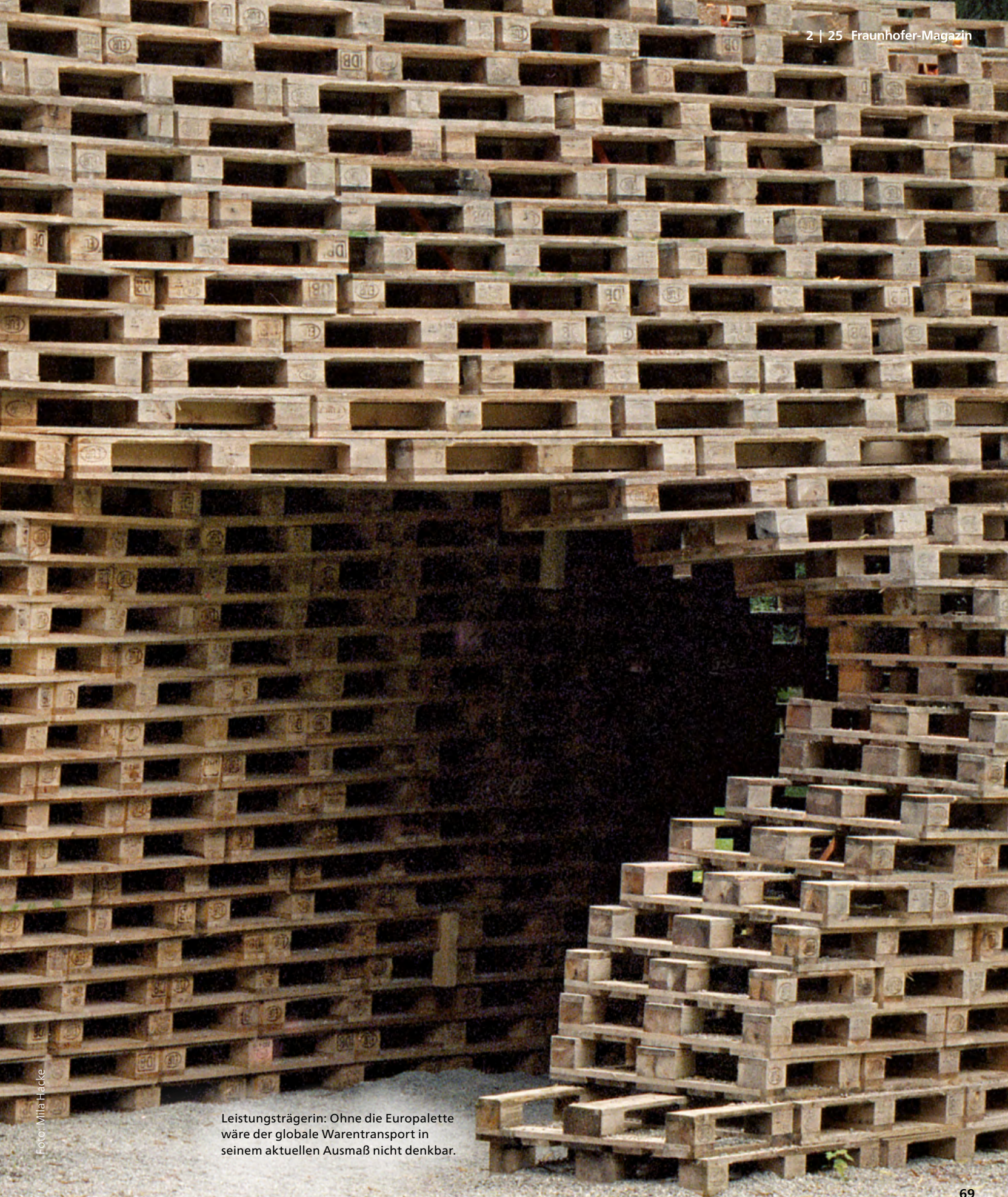


Foto: Milla Hacke

Leistungsträgerin: Ohne die Europalette wäre der globale Warentransport in seinem aktuellen Ausmaß nicht denkbar.

Gastbeitrag



Der Kommunikationsforscher Dr. Benedikt Fecher leitet die Organisation Wissenschaft im Dialog seit 2023. Er ist zudem in der #FactoryWisskomm engagiert, einer Diskursplattform des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt für die Weiterentwicklung von Wissenschaftskommunikation in Deutschland.

Wissenschaftskommunikation für ein besseres Morgen

Seit einem Vierteljahrhundert setzt sich die Organisation Wissenschaft im Dialog dafür ein, gesellschaftlichen Wandel durch Wissen zu gestalten. Eine Mission, die heute wichtiger ist denn je.

Gastbeitrag von Dr. Benedikt Fecher, Geschäftsführer Wissenschaft im Dialog

Vor 25 Jahren wurde Wissenschaft im Dialog (WiD) mit der Fraunhofer-Gesellschaft gegründet, um Wissenschaft sichtbarer zu machen, sie als kulturelle Errungenschaft zu vermitteln und Vertrauen in die Forschung zu stärken. Dass dies gelingt, bestätigen die Zahlen des Wissenschaftsbarometers, einer jährlichen repräsentativen Umfrage von WiD: Das Vertrauen der Bevölkerung in die Forschung ist stabil hoch und liegt über dem vieler anderer Berufsgruppen.

Doch die Herausforderungen an der Schnittstelle von Wissenschaft und Öffentlichkeit haben sich verändert und werden aktuell von drei Dynamiken geprägt: die tiefgreifende Transformation öffentlicher Kommunikation durch Künstliche Intelligenz (KI), die Rolle der Wissenschaft bei der Bewältigung komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen und nicht zuletzt der Schutz der Wissenschaftsfreiheit angesichts zunehmender Angriffe auf die offene Gesellschaft. Wissenschaftskommunikation ist wichtiger denn je, wenn sie sich diesen Herausforderungen stellt.

Kommunikation in Transformation

Generative KI hat sich als Werkzeug etabliert: Forschung lässt sich schneller verdichten, administrative Aufgaben werden reduziert. Chatbots sind inzwischen eine Hauptquelle wissenschaftlicher Inhalte. Gleichzeitig bestehen Risiken: Wissenschaftliche Expertise steht verstärkt in Konkurrenz zu plausibel klingendem Unsinn und Desinformation. Auch die Abhängigkeit von nicht-wissenschaftlichen Infrastrukturen wächst. KI berührt somit den Kern der Kommunikation mit und über Wissenschaft. Forschende und Bevölkerung müssen befähigt werden, KI-Technologien souverän und kreativ zu nutzen und sie zugleich kritisch zu hinterfragen.

WiD gestaltet diese Veränderungen aktiv mit. Künstliche Intelligenz war beispielsweise zentrales Thema im Wissenschaftsbarometer 2023; wir haben einen Multistakeholder-Prozess zu KI und Wissenschaftskommunikation initiiert und diverse Dialogformate umgesetzt. Die daraus erwachsenen Empfehlungen stehen in unserer Schriftenreihe WiD-Perspektiven kos-

tenfrei zur Verfügung. Auch das im Dezember 2025 stattfindende Forum Wissenschaftskommunikation, die größte jährliche Fachtagung der Branche, organisiert von

»Wissenschaftskommunikation ist gerade an den Schnittstellen zur Wirtschaft gefordert.«

WiD, wird sich intensiv mit dem Thema KI befassen. Mit dem RHET AI Center unterhalten wir mit „I’m a Scientist“ ein Format, das Schülerinnen und Schüler direkt mit KI-Forschenden ins Gespräch bringt.

Transfer braucht Kommunikation

Klimawandel, Biodiversitätsverlust, geopolitische Konflikte, wirtschaftlicher Wandel: Die Zahlen des Wissenschaftsbarometers 2024 zeigen, dass die Mehrheit der Bevölkerung ein Engagement der Wissenschaft hinsichtlich der großen Herausforderungen unserer Zeit erwartet. Auch die Mehrheit der Forschenden versteht gesellschaftliche Mitwirkung als festen Bestandteil ihres Berufs.

Um globale Problemlagen zu bewältigen, muss Wissenschaftskommunikation die Vielfalt wissenschaftlicher Perspektiven nutzen und Schnittstellen zu den Öffentlichkeiten stärken. Nur hier entsteht das Handlungswissen für die Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen. Innovation erwächst nicht automatisch aus Patenten, sondern aus Verständigung und Partnerschaften. Da rund zwei Drittel der Forschungs- und Entwicklungsausgaben in Deutschland aus dem Wirtschaftssektor stammen, ist Wissenschaftskommunikation gerade an den Schnittstellen zur Wirtschaft gefordert.

WiD unterstützt hier mit Weiterbildungen wie der CZS STEM Impact School, die

speziell Forschende aus MINT-Fächern dazu befähigt, ihre Expertise in gesellschaftlich wirksame Strategien zu übersetzen, sowie durch Multistakeholder-Dialoge und eine Vielzahl von Formaten, die den transsektoralen Dialog und Wissenstransfer stärken. Wirksamer Transfer gelingt nur durch exzellente, integrierte Kommunikation an den Schnittstellen.

Wissenschaftskommunikation als Schutzfaktor

Eine offene Gesellschaft setzt freie Wissenschaft voraus und umgekehrt. Populismus, Polarisierung und Desinformation gefährden diese wechselseitige Beziehung. Eine zentrale Aufgabe der Wissenschaftskommunikation ist es, Des- und Misinformation entgegenzutreten und wirksame Strategien für den Umgang mit polarisierten Debatten zu entwickeln. Sie stärkt eine informierte Öffentlichkeit sowie kritisches Denken und trägt so wesentlich zur Resilienz demokratischer Gesellschaften und wissenschaftlicher Organisationen bei. WiD verfolgt diese Ziele in zahlreichen Dialogformaten. 2025 legt WiD im Wissenschaftsbarometer den Fokus auf das Thema Polarisierung, um Lösungen für eine wirksame Wissenschaftskommunikation zu entwickeln.

Wissenschaftskommunikation ist mit Blick auf die skizzierten Dynamiken wichtiger denn je: jetzt – und mindestens für die nächsten 25 Jahre. Als Think-and-do-Tank ist WiD Vorreiter und unverzichtbare Infrastruktur einer freien Wissenschaft.

An der Seite von starken Partnern wie der Fraunhofer-Gesellschaft, die tief in der Gesellschaft verankert ist und für anwendungsnahe Forschung steht, gewinnt diese Aufgabe zusätzliche Schlagkraft. Als „die Organisation der Wissenschaft“ ist es unsere Aufgabe, Wissenschaftskommunikation konsequent weiterzuentwickeln, als unverzichtbaren und wirksamen Teil wissenschaftlicher Arbeit, gemeinsam mit unseren Gesellschaftern und Partnern. WiD steht seit 25 Jahren dafür ein und wird es auch künftig tun: als Motor, Brücke und Garant wirksamer Wissenschaftskommunikation. Für eine offene Gesellschaft, die Wandel mit dem besten Wissen gestaltet. ■

Tumor im Fadenkreuz

Die computergestützte Navigation hilft, empfindliches Gewebe bei Eingriffen zu schonen. Dank einer Datenbrille werden Operationen nun nicht nur sicherer, sondern auch kostengünstiger. Mit ihrem neuen Ansatz wecken Forschende weltweit das Interesse großer Tech-Konzerne.

Von Yvonne Weiß



Gut vernetzt: Das menschliche Gehirn besteht aus Milliarden von Nervenzellen, die über Synapsen miteinander kommunizieren.

Der Neurochirurg ist dicht am Ziel. Im Display seiner Virtual-Reality-Brille bahnt sich die neongrüne Markierung, die die Spitze des Operationsinstruments markiert, in Sekundenschnelle ihren Weg durch die grauen Schichten des Gehirns. Der Operateur weiß: Nur noch wenige Millimeter, dann hat sein Skalpell den Tumor erreicht.

Diese Szene könnte bald Realität im Operationsaal sein. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und der Neurochirurgie der Universität Leipzig haben herausgefunden, wie eine Standard-Datenbrille chirurgische Eingriffe revolutionieren kann – und Operationen sicherer und kostengünstiger macht.

»Unsere Technologie funktioniert ähnlich einem GPS-System im Auto«, erklärt Dr. Ronny Grunert, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Additive Kunststofftechnologien und Automatisierung am Fraunhofer IWU. »Neben dem realen Operationssaal sieht der Arzt in einer Datenbrille eine MRT-Aufnahme. Diese gleicht einer anatomischen Landkarte der Person – und zeigt in Echtzeit mittels eines Fadenkreuzes an, wo sich das Operationsinstrument aktuell befindet.«

Navigationssysteme in Form von großen Apparaturen und Kameras kommen bei operativen Eingriffen bereits zum Einsatz. Diese sind allerdings nicht nur sperrig und komplex in ihrer Bedienung, sie schlagen je System zudem mit etwa einer halben Million Euro zu Buche. »Unsere Technologie ist platzsparend, lässt sich einfach bedienen und kostet im Vergleich zu klassischen Navigationssystemen lediglich etwa ein Zehntel«, erklärt Grunert. So sollen auch kleinere Krankenhäuser und Arztpraxen die Technologie nutzen – und noch sicherer operieren können.

Datenbrille ermöglicht Echtzeit-Einblicke ins Gehirn

Im Projekt, an dem auch das IT-Unternehmen ISD beteiligt ist, hat das Team eine spezielle Software entwickelt. Diese verbindet die Standard-Datenbrille mit einer MRT-Aufnahme, die vor der OP vom Gehirn des Patienten oder der Patientin aufgenommen wurde. Die Fraunhofer-Forschenden fertigen zudem eine weitere zentrale Komponente

der Technologie an: ein Handstück aus dem 3D-Drucker, an dem das Operationsinstrument befestigt ist, das der Chirurg oder die Chirurgin im Körper bewegt. Das Stück, das dem Griff eines Schraubenziehers ähnelt, dient als Bindeglied zwischen dem verborgenen OP-Besteck im Körper und der Datenbrille.

Neue Technologie weckt weltweit Interesse

Ronny Grunert und sein Team haben dafür spezielle Marker erstellt, die ebenfalls aus dem 3D-Drucker stammen: geometrische Formen wie Dreiecke, die die Forschenden anschließend am Handstück befestigen. Ist das Instrument in Bewegung, erfasst eine Kamera, die in der Datenbrille integriert ist, diese Marker. Da die Geometrien des gesamten Instruments zuvor in der Software hinterlegt wurden, weiß das Computerprogramm, wo sich die Spitze des Instruments in Relation zum Marker aktuell befindet – und kann somit dessen exakte Position im Körper ermitteln.

»Erste Prototypen haben wir bereits erfolgreich getestet, derzeit optimieren wir die Marker«, so Grunert. »So möchten wir mit der Datenbrille eine Genauigkeit von ein bis zwei Mil-

limeter erreichen, die für konventionelle Navigationssysteme üblich ist.«

Das Projektteam nutzt weltweit erstmalig eine Datenbrille als Navigationssystem bei neurochirurgischen Eingriffen; diese eignen sich aufgrund des knöchernen Schädels, der das Gehirn umgibt, besonders für eine exakte Navigation. Langfristig könnte die Technologie aber auch bei Operationen anderer Körperregionen zum Einsatz kommen. Das Interesse ist groß: Bereits vergangenes Jahr hat Ronny Grunert dem Konzern Apple die Software am neuesten Modell der firmeneigenen Datenbrille demonstriert. Dieses Jahr hat ihn das Unternehmen zur ersten Konferenz im Bereich Special Computing eingeladen.

Ronny Grunert freut sich über die Ergebnisse: »Ich finde es faszinierend, was dank modernster Technik im OP-Saal möglich ist und sowohl Patienten als auch Chirurgen nützt. Zu sehen, dass wir in diesem Bereich weltweit führend sind, ist für uns ein riesiger Erfolg.«

»Ich finde es faszinierend, was dank modernster Technik im OP-Saal möglich ist und sowohl Patienten als auch Chirurgen nützt.«

Dr. Ronny Grunert, Fraunhofer IWU



EUROPA

Strukturierte Oberflächen für die Photovoltaik

Perowskit-Solarzellen gelten als potenziell leistungsstärkere Nachfolger klassischer Silizium-Zellen. Dank ihrer Flexibilität ermöglichen sie Anwendungen etwa auf Folien oder in Gebäudefassaden. Im EU-Projekt PERSEUS entwickelt das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP Verfahren zur Strukturierung dieser Zellen mithilfe der Rolle-zu-Rolle-Nanoimprintlithografie (R2R-NIL). Das Verfahren basiert auf der Prägung und UV-Vernetzung spezieller Lacke durch rotierende Walzen. So sollen Reflexionsverluste gesenkt und der Wirkungsgrad der Solarzellen erhöht werden.

Parallel dazu entwickeln die Forschenden im Projekt »Design-PV« dekorative Oberflächen für fassadenintegrierte Photovoltaikmodule, um Solarzellen ohne architektonische Beeinträchtigung ästhetisch in Gebäude zu integrieren. Die NIL-Technologie erlaubt eine großflächige, kosteneffiziente Herstellung strukturierter Folien – auch für weitere Anwendungen in Bereichen wie Antifouling, Entspiegelung oder Medizintechnik.

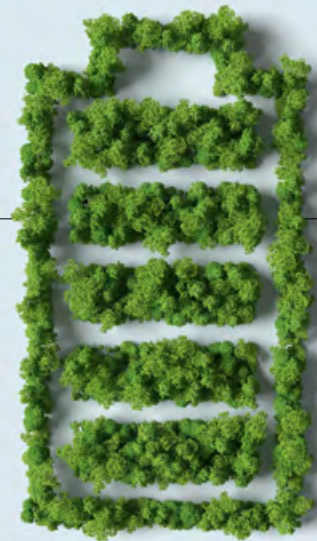


Die PV-Module der Zukunft sollen nicht nur effizient arbeiten, sondern auch besser aussehen.

Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Nachhaltigkeit spielt bei der Entwicklung innovativer Solid-State-Batterien von Beginn an eine Rolle.

NORWEGEN/SLOWENIEN

Festkörperbatterien neu gedacht

Im Projekt FUNCY-SSB entwickeln Partner aus Deutschland, Norwegen und Slowenien neue Materialien für Festkörperbatterien. Diese sogenannten Solid-State-Batterien sind besonders für den Mobilitätssektor interessant. Anders als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien enthalten sie feste statt flüssige Elektrolyte. Das ermöglicht höhere Energiedichten, stellt die Materialforschung aber vor große Herausforderungen: Feststoffe lassen sich schlechter verbinden, Grenzflächen

müssen stabil und leitfähig bleiben. Unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Silicatiforschung ISC erarbeitet das Projektteam daher funktionelle Oberflächenbeschichtungen, die den Ionentransport verbessern und empfindliche Elektrolytkomponenten schützen. Nachhaltigkeit und Recyclingfähigkeit werden von Anfang an mitgedacht. Das angestrebte Materialdesign könnte künftig als Vorbild für weitere Festkörperelektrolyte dienen.



NORWEGEN/EUROPA Grüner Strom für grüne Schiffe

Die Schifffahrt verursacht erhebliche Emissionen – unter anderem, weil Bordstromsysteme kaum für die Integration erneuerbarer Energien ausgelegt sind. Unter Leitung der norwegischen Maritime CleanTech entwickeln 13 europäische Partner im Projekt STEESMAT ein System auf Basis von Mittelspannungs-Gleichstrom (MVDC), das den Wechselstromstandard ablösen soll.

Das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT erarbeitet im Projekt ein simulationsbasiertes »Hardware-in-the-Loop«-Modell für sogenannte Festkörpertransformatoren (SST), die künftig Gleich- und Wechselstromsysteme an Bord effizient und sicher verknüpfen sollen. Damit lassen sich mehrere Energiequellen wie Batterie-



Neuer Kurs: Innovative Technologien sollen die Schifffahrt ökologischer machen.

rien, Brennstoffzellen, Solarzellen und Windturbinen flexibel einbinden. Ergänzend gestaltet das Fraunhofer ISIT Steuerungsstrategien für maritime Gleichstromnetze, die auch unter wechselnden Lasten stabil bleiben. Die Technik wird derzeit auf dem Forschungsschiff »RV North Star« unter realen Seebedingungen getestet.

Das STEESMAT-System soll zudem Gewicht und Energieverbrauch der Schiffe reduzieren und so die Emissionen um bis zu 40 Prozent senken: ein Fortschritt, der die europäische Industrie an die Spitze nachhaltiger maritimer Innovation bringen würde.



EUROPA Monitoring für Wasserstoff-Elektrolyseure

Grüner Wasserstoff ist zentral für die Energiewende, doch die Herausforderungen für den großtechnischen Einsatz von Elektrolyseuren sind erheblich: Die Anlagen müssen der schwankenden Energieversorgung folgen, verursachen hohe Betriebskosten und haben eine begrenzte Lebensdauer. Im EU-Projekt DELICIOUS, koordiniert vom



Wasserstoff soll künftig einen Teil der Energie-Versorgung in der EU abdecken.

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES, arbeiten Forschende aus fünf EU-Mitgliedstaaten an einem intelligenten Managementsystem für Elektrolyseure (EMS), das Effizienz und Zuverlässigkeit der Anlagen optimiert. Das System vereint erstmals verschiedene Messtechnologien – elektrochemische Impedanz-Spektroskopie (EIS) und Raman-Spektroskopie – mit datenbasierten Modellen. So lassen sich Alterungsprozesse und Sicherheitsrisiken frühzeitig erkennen. Die Technologie funktioniert mit allen gängigen Elektrolyseverfahren: alkalische Elektrolyse, Protonenaustauschmembran- und Festoxid-Elektrolyse. Das Fraunhofer IWES wird in seinem Hydrogen Lab Leuna für die alkalische Elektrolyse Validierungstests im großen Maßstab (>100 kW) durchführen. Winddaten aus Bremerhaven simulieren dabei die schwankende Energiezufuhr aus erneuerbaren Quellen.



EUROPA Zukunftsfähige Stromnetze

Wie sich Stromnetze mit hohem Anteil erneuerbarer Energien effizient steuern lassen, erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im europäischen Verbundprojekt TenSyGrid unter der Koordination des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES. Ziel ist, die Netzstabilität zu sichern und die



Adaptive Systeme: Schwankende Einspeisungen setzen eine möglichst flexible Energie-Infrastruktur voraus.

Versorgung zuverlässiger zu machen. Kern des Projekts ist ein multilineares mathematisches Modell, das Stromnetze mithilfe sogenannter Tensoren vereinfacht abbildet. Hiermit sollen das komplexe Zusammenspiel dezentraler, schwankender Einspeisungen schneller und präziser als mit herkömmlichen Verfahren simuliert, Netzprobleme in Sekundenbruchteilen erkannt und dabei gut interpretierbare Ergebnisse geliefert werden. So können Betreiber in Echtzeit bewerten, wie sich Änderungen der Stromerzeugung auf das Netz auswirken. Das Modell soll sich nahtlos in bestehende Netzleitsysteme und Softwarelösungen integrieren lassen, um eine breite praktische Anwendung zu ermöglichen.

Revolution auf hoher See

Damit Windräder sicher im Wasser stehen, nimmt das Fraunhofer IWES den Meeresgrund der Ostsee unter die Lupe.

Von Kathrin Schwarze-Reiter

Die Ostsee wird derzeit zum Schauplatz eines ehrgeizigen Projekts: Das polnische Unternehmen ORLEN und die kanadische Firma Northland Power planen hier den Baltic Power Offshore-Windpark mit einer Spitzenleistung von 1,14 Gigawatt – genug, um 1,5 Millionen Haushalte mit sauberem Strom zu versorgen. Doch bevor die riesigen Turbinen errichtet werden, muss klar sein, ob der Meeresboden überhaupt dafür geeignet ist.

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES mit Sitz in Bremerhaven hat sich dieser Herausforderung angenommen. Mit innovativen geophysikalischen Messverfahren untersucht es die Beschaffenheit des Meeresgrunds, damit der Bau des Windparks sicher starten kann. Denn das Meer ist für die Forschenden vor allem eines: ein riesiges Labor für die Energie der Zukunft.

Gefahren und Geschichte unter Wasser: Was der Meeresboden verbirgt

Der Meeresboden ist ein unberechenbares Terrain – eine unsichtbare Welt, die über Erfolg oder Misserfolg eines Offshore-Windparks entscheidet. Neben Felsbrocken der Eiszeit, sogenannten Findlingen, können dort auch Wracks gesunkener Schiffe, alte Kabel- und Leitungssysteme, Fischernetze oder sogar archäologische Relikte ►





Foto: Jonas Dahm aus dem Buch: Geisterschiffe. Eine Reise zu den Wracks der Ostsee

»Wir können
Objekte, die etwa
50 Zentimeter
groß sind, in einer
Tiefe von bis zu
100 Metern
finden.«

Gino Frielinghaus,
Fraunhofer IWES

Schätzungsweise 100 000 Schiffs-
wracks liegen auf dem Grund der
Ostsee – nur eine von vielen
Überraschungen in der Tiefe, die
die Baupläne durchkreuzen können.

wie prähistorische Siedlungsreste oder Kultstätten liegen. Diese Überbleibsel menschlicher Geschichte oder industrieller Nutzung können nicht nur Bauprojekte verzögern, sondern erfordern teils aufwendige Dokumentationen oder rechtliche Prüfungen – etwa dann, wenn dort Siedlungen aus der Steinzeit auftauchen. Wird ein bedeutendes Relikt entdeckt, kann das zu Bauunterbrechungen, Umplanungen oder Rettungsgrabungen führen.

Und manchmal kann es dort unten auch richtig gefährlich werden. In der Nord- und Ostsee lagern gewaltige Mengen an Altmunition aus den zwei Weltkriegen, in der Nordsee allein schätzungsweise 1,6 Millionen Tonnen: Bomben, Minen und Granaten. »Diese müssen aufwendig kartiert und größtenteils geborgen werden, um sicher bauen zu können«, sagt Gino Frielinghaus, Abteilungsleiter Baugrunderkundung am Fraunhofer IWES.

Unsichtbares sichtbar machen: Das Prinzip der Boulder Detection

Um unliebsame Überraschungen zu vermeiden, setzen Frielinghaus und sein Team auf hochpräzise Messtechnologie. Ein eigens am Fraunhofer IWES entwickeltes rahmenbasiertes Messsystem erkennt Funde auf dem Meeresboden und massive Findlinge – sogenannte Boulders – bis zu 100 Meter unterhalb des Meeresbodens. Das System gleitet elegant wie ein Mantarochen mit seitlich ausladenden Flossen über den Meeresgrund. Dabei erfasst es mit seinen Sensoren die darunterliegenden Strukturen.

Die Sensoren sind in dem Schlepprahmen installiert, der hinter dem Schiff gezogen wird – gekoppelt mit einem hochgenauen GPS-System. Die Forschenden senden seismische Signale in den Untergrund. Wie ein Echo kehren diese Wellen an die Oberfläche zurück, wo sie von hochempfindlichen Unterwassermikrofonen, sogenannten Hydrophonen, aufgezeichnet werden. Die Art, wie diese Wellen gestreut oder reflektiert werden, verrät viel über Form, Lage und Material der Objekte im Boden.

Das Besondere: Diese spezielle Form der sogenannten Mehrkanalseismik erlaubt es, selbst kleine oder unregelmäßig geformte Hindernisse aufzuspüren. So entsteht ein dreidimensionales Bild des Meeresbodens mit erstaunlicher Detailtiefe. »Wir können Objekte, die etwa 50 Zentimeter groß sind, in einer Tiefe von bis zu 100 Metern finden«, sagt Frielinghaus.

In der Nord- und Ostsee lagern gewaltige Mengen an Altmunition aus den zwei Weltkriegen, in der Nordsee allein schätzungsweise

1,6

Millionen Tonnen:
Bomben, Minen
und Granaten.

Planungssicherheit in Rekordzeit: Präzise Daten beschleunigen Bauprojekte

Die so gewonnenen Daten sind Gold wert – für Planer, Bauunternehmen und Betreiber gleichermaßen, denn sie sparen Kosten und Zeit. Sie helfen, Standorte für Fundamente auszuwählen, Trassen für Seekabel zu bestimmen und Risiken bereits vor Beginn der Bauarbeiten zu minimieren. Auch entlang der Kabelkorridore ist das wichtig: Dort können Findlinge nicht einfach umgangen werden. Die Steine können die Installation von Seekabeln behindern, was mit hohen Kosten verbunden ist.

Eine weitere Stärke des Systems: Es funktioniert auch in schwierigen geologischen Bedingungen, etwa bei weichen Sedimenten, hartem Ton oder gemischten Untergründen. »Genau solche Komplexität haben wir in der Ostsee«, so Frielinghaus. »Deshalb ist unser Messsystem perfekt für diesen Einsatzort.«

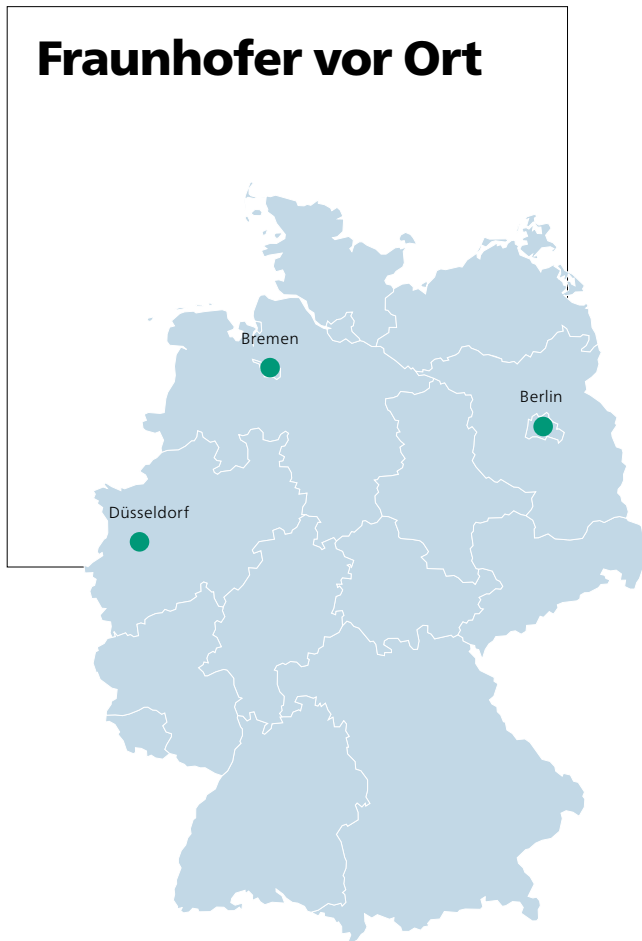
Im Vergleich zu herkömmlichen geophysikalischen Erkundungsmethoden ist die smarte Technologie aus dem Fraunhofer IWES nicht nur präziser, sondern auch effizienter. Die Technologie ist speziell auf die Detektion sämtlicher Georisiken zugeschnitten und hat entscheidend dazu beigetragen, dass die Planung des Baltic Power Offshore-Windparks schnell durchgeführt werden konnte.

Erstmals kam das System des Fraunhofer IWES dabei auch entlang geplanter Seekabelrouten zum Einsatz. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchten systematisch, wie viele potenzielle Findlinge sich in unmittelbarer Nähe der vorgesehenen Kabelkorridore im Untergrund befinden und wo sich größere Boulder-Felder konzentrieren. Auf Basis dieser Daten können Installationsschiffe die Kabel später gezielt um Hindernisse herumführen. Das reduziert die Kosten und ist gleichzeitig ein erheblicher Vorteil für die Sicherheit und Langlebigkeit der Infrastruktur.

Auf Tauchgang für sichere Stromwege

Inzwischen ist das Projekt in einer fortgeschrittenen Phase: Die Offshore-Vermessungen sind abgeschlossen, die Netzanbindung gesichert. Im Januar 2025 startete die Installation der ersten Fundamente auf See – dank der sorgfältigen Erkundungsarbeit des Fraunhofer IWES ohne böse Überraschungen. ■

Fraunhofer vor Ort



Berlin

**30. September –
2. Oktober 2025**

Smart Country Convention

Kongressmesse für die
Digitalisierung des
öffentlichen Sektors



Düsseldorf

8. – 15. Oktober 2025

Messe K

Weltgrößte Fachmesse der
Kunststoff- und Kautschuk-
Industrie



Bremen

11. – 13. November 2025

Space Tech Expo

Fachmesse für die Lieferkette
und Ingenieursdienst-
leistungen der Raumfahrt-
industrie



Düsseldorf

17. – 20. November 2025

Medica

Internationale Leitmesse
für Medizintechnik



Düsseldorf

17. – 20. November 2025

Compamed

Internationale Fachmesse
für die medizinische
Zuliefererbranche und
deren Produktentwicklung

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>



Fraunhofer bewegt Großes

Wie lassen sich die Infrastruktur-Projekte in Bilder fassen? Fotograf Jonas Ratermann machte sich mit technischen Zeichnungen, einem Beamer und großformatigen weißen Hintergründen auf die Reise. Am Ende wurde die Foto-Produktion schwarz-weiß, um die Fraunhofer-Forschenden noch stärker mit der Technik zu verschmelzen. Ein wenig zur Inspiration beigetragen hat Dirk Koster (r.) vom Fraunhofer IZFP. Er liebt Heavy Metal und trägt nur Schwarz.

