

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Nachhaltig
fahren
Energie vom
Autodach

So machen Daten gesund

KI in der Medizin:
mehr Tempo für
schnellere Heilung

Sina Mackay, Data Scientist
am Fraunhofer IAIS

Billiger bauen
Hohe Kosten,
fehlende Fachkräfte –
bereit für Robotik?

**»Wir brauchen mehr Investitionen
in die Digitalisierung!«**
Judith Gerlach, Deutschlands
erste Digitalministerin, im Interview





Ausstellung

»Down to Earth
Space Technology«

4. – 6. Mai 2023

Kommt vorbei!

Mit Science Parcours, Bürgerlabor, Science Café
und einem spannenden Vortragsprogramm
(geeignet ab 12 Jahren)

Fraunhofer-Forum Berlin
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin



Editorial

Forschergeist für die Mobilitätswende

Die Mobilitätswende ist Grundvoraussetzung für das Erreichen der nationalen Klimaschutzziele. Bis 2030 will die Bundesregierung die Verkehrsemissionen um 40 bis 42 Prozent senken und nach dem Autogipfel im Januar die Anzahl der zugelassenen vollelektrischen Fahrzeuge auf 15 Millionen erhöhen. Eine zentrale Schlüsselrolle spielt in diesem Kontext die Batteriezellfertigung. Für eine effizientere und günstigere Produktion im industriellen Maßstab bündeln 14 Fraunhofer-Institute ihre Expertise in der Fraunhofer Forschungsfertigung Batteriezelle (FFB) in Münster. Ziel ist es, den Innovations- und Kommerzialisierungsprozess von Produktionstechnologien für Zellformate zu beschleunigen. Insbesondere bei der Entwicklung von Stromspeichertechnologien leistet die Fraunhofer FFB einen wichtigen Beitrag, um die deutsche und europäische Industrie für eine ökonomische und ökologische Produktion von Batteriezellen zu befähigen.

Für die Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs stellen hingegen Brennstoffzellen, die CO₂-neutralen Wasserstoff in Strom umwandeln, eine geeignete Antriebsalternative dar. Diese wirtschaftlich und im industriellen Maßstab zu produzieren, daran arbeiten 19 Fraunhofer-Institute mit 80 Millionen Euro Bundesförderung im Projekt H2GO. Die erarbeiteten Produktionslösungen werden den beteiligten Partnern als digitale Abbilder zur Verfügung gestellt und ermöglichen so den synergetischen Zusammenschluss in einer virtuellen Referenzarchitektur für die Brennstoffzellen-Produktion.

Nicht nur auf der Straße, sondern auch in der Luft gilt es, die Umweltauswirkungen steigender Transport- und Passagierzahlen dauerhaft zu senken. Nachhaltige Treibstoffe mit einem bis zu 80 Prozent geringeren CO₂-Ausstoß gelten hier als zentrale mittelfristige Lösung für die Dekarbonisierung der Luftfahrt. Um die Produktionskapazität für nachhaltige Kraftstoffe rasch auszubauen, forscht die Fraunhofer-Gesellschaft technologieoffen an verschiedenen Ansätzen. Einer davon ist das To-Syn-Fuel-Projekt, welches im Oktober 2022 erfolgreich abgeschlossen wurde. Hier ist es erstmals gelungen, im großtechnischen Demonstrationsmaßstab Kraftstoffe aus Biomassereststoffen herzustellen. Mehr als 500 Tonnen Klärschlamm wurden auf diese Weise zu 50 000 Litern Öl umgewandelt, aus denen sich 40 000 Liter Benzin, Diesel und Kerosin gewinnen lassen.



Prof. Reimund Neugebauer

Die Herausforderungen, vor denen Deutschland und Europa mit der Energie- und Mobilitätswende stehen, verlangen Pionier- und Forschergeist sowie den Willen, Innovationen schnell in die Anwendung zu führen. Gesellschaftliche Akzeptanz ist dabei ebenso bedeutend wie das enge Zusammenspiel von Wissenschaft, Industrie und Politik. Lassen Sie uns gemeinsam diese Wende gestalten, damit Deutschland auch in Zukunft ein attraktiver Wirtschaftsstandort mit hoher Lebensqualität bleibt.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Mehr zu den großen Forschungsthemen der Fraunhofer-Gesellschaft:
Prof. Reimund Neugebauer auf LinkedIn



Inhalt



38

Titel

Das Penicillin von heute

Künstliche Intelligenz kann Krankheiten früher erkennen, Therapien verbessern und medizinisches Personal entlasten. Trotzdem wird sie in Kliniken bisher kaum genutzt.



50

»Ökosystem für Künstliche Intelligenz«

Bayerns Digitalministerin Judith Gerlach, 37, hat aktuell den Vorsitz beim D16-Treffen der fürs Digitale zuständigen Minister. Im Interview erzählt sie von ihren Zielen – und der »Kleinen Hexe«.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

24 Raus aus der Gefahrenzone

Wie Kinder mithilfe von Virtual Reality lernen, riskante Situationen im Straßenverkehr besser zu erfassen

28 Wo Larven für die Umwelt fressen

Die Larven der Schwarzen Soldatenfliege enthalten gesättigte Fettsäuren, die Palmöl ersetzen könnten

30 Einatmen – und aufatmen

Schritthalten mit den Viren: RNA-basierte Medikamente sind die neuen Hoffnungsträger im Kampf gegen Influenza und Co

10

Verbrenner-Aus ab 2035

Was bewegt das Auto von morgen?

Fraunhofer-Forschende arbeiten auf Hochtouren, um die Lebensdauer der Batterien zu verbessern, ihre Energiedichte zu steigern – und so die Reichweite zu erhöhen.

10 Nachhaltig und unabhängig unterwegs

Wirklich umweltfreundlich fahren E-Autos nur mit regenerativer Energie. Solarstrom vom Auto-dach ist schon mehr als eine schöne Idee. Wie Forscherinnen und Forscher leistungsstarke Batterien entwickeln und mehr technologische Unabhängigkeit für Europa schaffen

17 Autonomes Fahren besser absichern

Forschende des Fraunhofer EMI entwickeln einen Filter, der kritische Szenarien im Straßenverkehr gezielt identifiziert

18 Biomasse statt Benzin!

Wie sich nachhaltiger Kraftstoff aus Klärschlamm gewinnen lässt

22 Stimme aus der Wirtschaft

CEO des Elektroauto-Herstellers Polestar Thomas Ingenlath

32 Nachhaltig behaglich

Das Fraunhofer ISE räumt mit Vorurteilen auf: Auch ältere und Mehrfamilienhäuser lassen sich mit Wärmepumpen effizient heizen

35 Staffellauf des Wissens, Folge 7

Wie gestaltet sich New Work in der Wissenschaft, Herr Prof. Wilhelm Bauer?

38 Das Penicillin von heute

Wie Daten gesund machen

48 Schöne neue Klinikwelt

So könnte die Klinik der Zukunft aussehen

50 »Ökosystem für Künstliche Intelligenz«

Im Interview: Bayerns Digitalministerin Judith Gerlach

54 Umgebungsenergie ernten

Dank Energy Harvesting lassen sich Sensoren ganz ohne Kabel oder Batterien mit Strom versorgen

32 Nachhaltig behaglich

Wirtschaftsminister Robert Habeck will sechs Millionen neue Wärmepumpen bis 2030 – ehrgeizig, aber machbar.



66 »Entscheidend ist die kollektive menschliche Intelligenz«

Dr. Philine Warnke vom Fraunhofer ISI im Interview über Zukunft und gesellschaftliche Verständigung.

56 Fresszellen aus dem Reaktor

Maßgeschneiderte Stammzellen für neue Arzneimittel problemlos im großen Stil produzieren

58 Starthilfe für Herzensprojekte

Die Fraunhofer-Zukunftsstiftung lässt Bürgerinnen und Bürger mitentscheiden

60 Vom Reststoff zum Rohstoff

In Industrieabwässern steckt noch viel Wertvolles

62 Via VR-Brille in den Hörsaal

Die Revolution der Online-Lehre

64 3 x 3 Fragen zu 3 Jahren Corona

Drei Fraunhofer-Experten ziehen Bilanz

66 »Entscheidend ist die kollektive menschliche Intelligenz«

Wie lässt es sich in einer Welt leben, in der Unsicherheit zum ständigen Begleiter geworden ist?



76 Gefahr im Anflug?

Drohnen in 3D erkennen und verfolgen.

68 Fraunhofer international**70 Großbaustelle Baubranche**

Der Fachkräftemangel ist auf Baustellen besonders groß. Können Roboter die Arbeit übernehmen?

74 Foto & Fraunhofer

Für die perfekte Lackierung haben sich Fraunhofer-Forschende die entscheidende Idee bei der Fledermaus abgucken

76 Gefahr im Anflug?

Ein innovatives Radarsystem erkennt Drohnen in Echtzeit und 3D

78 Dolmetscher im Ohr

Die nächste Generation der In-Ear-Kopfhörer kann viel mehr als nur Musik

79 Fraunhofer vor Ort

Unsere Mobilität ist im Umbruch. Nach den Zahlen des Kraftfahrtbundesamtes wurden im vergangenen Jahr 2,65 Millionen Autos neu zugelassen. Damit gilt 2022 als **historisch schlechtes Jahr**. Allerdings: **Batterieelektrisch** angetrieben rollten 470 559 Pkw neu auf die Straßen – ein Plus von 32,2 Prozent.

32%

Kurz gemeldet



Länger im Amt als Angela Merkel: die Roboter der Roberta-Initiative. Roboter Nao wurde von Berliner Schülerinnen unter Anleitung von Beate Jost programmiert, Projektleiterin am Fraunhofer IAIS (r.).

»Roberta – Lernen mit Robotern« feiert 20. Geburtstag

Um mehr Mädchen für Technik, Informatik und Naturwissenschaft zu begeistern, startete das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS vor 20 Jahren die Bildungsinitiative »Roberta« – eine Erfolgsstory. »Roboter bieten für Kinder und Jugendliche einen attraktiven Zugang zur Informatik«, sagt Beate Jost, technische Leiterin der Roberta-Initiative und Projektleiterin am Fraunhofer IAIS. Roberta-Coaches vom Fraunhofer IAIS schulten bis heute mehr als 3500 Lehrerinnen und Lehrer in Robotik und Programmieren und erreichten so über 650 000 Schülerinnen und Schüler. Um die Roboter zum Leben zu erwecken, entwickelte das Fraunhofer IAIS mit Unterstützung von Google.org die offene grafische Programmierplattform »Open Roberta«. Spielerisch können hier per »drag and drop« Programme für unterschiedliche Mikrocontroller und Roboter erstellt werden. Seit 2014 gibt es das kostenlose Angebot, das bisher Kinder und Jugendliche aus mehr als 120 Ländern erreichen konnte. Pünktlich zum 20. Geburtstag konnte Roberta den zehnmillionsten User willkommen heißen. ■



Mitmachen unter: <https://lab.open-roberta.org>

Volkskrankheit rheumatoide Arthritis: Auch stark gekrümmte Finger können mit dem Gelenkimplantat optimal versorgt werden.



Mehr Beweglichkeit durch KI

Das Konsortium »FingerKI«, in dem sich fünf Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen haben, arbeitet mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) an individualisierten Fingergelenkimplantaten aus dem 3D-Drucker. Dafür entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zunächst eine KI-gestützte Software, die in der Lage ist, aus zweidimensionalen Röntgenaufnahmen dreidimensionale Modelle der Fingerknochen zu errechnen und eine potenzielle Fehlstellung zu korrigie-

ren. Anschließend leiteten die Forschenden das individuelle Implantatdesign aus dem Fingermodell ab und setzten es im 3D-Druck um. Aufgrund der dem Originalgelenk nachempfundenen Konstruktion wird unter anderem eine im Vergleich zu herkömmlichen Implantaten deutlich verbesserte Beweglichkeit erreicht. Auch ermöglicht das eingesetzte 3D-Druck-Verfahren die Oberfläche des Schafts so präzise zu strukturieren, dass dieser besser in den Knochen einwächst. ■

Das Schlaflabor für zu Hause

Ein komfortables Sensorsystem macht Schlafmonitoring jetzt auch außerhalb des Schlaflabors möglich – mit ebenso hoher Datenqualität. Entwickelt wurde es von Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik IBMT im Projekt REMUS. Die Sensoren überwachen Atmung, Herzfrequenz und weitere Vitalparameter mithilfe von Radartechnologie. Geräusche wie Schnarchen oder Husten können selbst unter der Bettdecke erkannt werden. »Das Verfahren ermöglicht Messungen über lange Zeiträume hinweg – ohne Einschränkung der Bewegungsfreiheit im Bett oder großen Desinfektions- und Wartungsaufwand«, erklärt Dr. Insa Wolf, Gruppenleiterin Mobile Neurotechnologien am Oldenburger Institutsteil.

Die zentrale Komponente einer ausführlichen Untersuchung im Schlaflabor ist das EEG, denn die Messung der Hirnaktivität mithilfe von Elektroden ermöglicht entscheidende Rückschlüsse auf die Schlafphasen und spezifische Charakteristika im Schlaf. Dazu werden leicht anlegbare, diskrete und flexible Elektrodenpatches im Ge-

sichtsbereich und hinter dem Ohr platziert. Für möglichst aussagekräftige Daten können zusätzlich zum EEG auch Augenbewegungen durch ein Elektrookulogramm (EOG) und Muskelbewegungen im Gesicht durch ein Elektromyogramm (EMG) in einer Anwendung erfasst werden. ■

Ob die Atmung im Schlaf aussetzt, lässt sich jetzt bequem im eigenen Bett überprüfen.



Geringeres Risiko nach Herz-OPs



Nach herzchirurgischen Eingriffen bringen häufig externe Schrittmacher und auf der Herzoberfläche aufgenähte Schrittmachersonden das Herz wieder in Takt.

mäßig im Körper abgebaut, sondern ist auch biokompatibel, elektrisch leitfähig und hat eine hohe mechanische Festigkeit. Um die Sonde vom umgebenden Gewebe zu isolieren, beschichten die Forscherinnen und Forscher das Metall mit sich ebenfalls zersetzenden Biopolymeren. Das Team untersucht und optimiert die verwendeten Materialien hinsichtlich ihrer mechanischen, elektrischen und Degradationseigenschaften. Erste Demonstratoren werden in präklinischen Studien beim Projektpartner, der medizinischen Fakultät der TU Dresden, erprobt.

Die innovativen Schrittmachersonden könnten herkömmliche Sonden ersetzen, mit denen bisher Herzrhythmusstörungen nach herzchirurgischen Operationen behandelt werden. Diese werden vorübergehend auf der Herzoberfläche aufgenäht, was mehrere Risiken birgt: Manchmal verwachsen sie mit dem umliegenden Gewebe, was später das manuelle Herausziehen erschwerte und zu Komplikationen führen kann. Werden die Sonden gekappt und bleiben im Körper, steigt die Infektionsgefahr, oder die Reste wandern im Körper, was oft weitere Operationen erforderlich macht. ■

Selbstauflösende Schrittmachersonden entwickelt ein Team am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden. Sie bestehen größtenteils aus dem Metall Molybdän, das mehrere Vorteile in sich vereint: Es wird nicht nur gleich-



Gabelstapler fahren sechs bis sieben Kilometer pro Stunde und wiegen ohne Ladung teilweise über 500 Kilogramm.

Mehr Sicherheit in der Lagerlogistik

Spezielle optische Sensoren für Gabelhubwagen, Gabelstapler und Co. sollen Lagermitarbeitende in Zukunft besser bei ihrer Arbeit schützen. »Unser System dient dazu, den Nutzer vor Quetschungen vor allem im Fußbereich zu bewahren«, erklärt Prof. Peter Hartmann, Leiter des Fraunhofer-Anwendungszentrums für optische Messtechnik und Oberflächentechnologien AZOM. Ein innovativer Näherungssensor erkennt, wenn sich der Bediener zu nah im Gefahrenbereich vor dem Fahrzeug befindet, und bremst es automatisch ab. »Die Technik kann bei nahezu allen Transportfahrzeugen eingesetzt werden. Insbesondere ist sie für autonom fahrende Transportfahrzeuge interessant«, sagt Dr. Christopher Taudt, Gruppenleiter Oberflächenmesstechnik im Fraunhofer AZOM. Zusammen mit seinem Team will er die Sicherheitstechnik weiter optimieren. »Aktuell arbeiten wir an der Idee, die Sensoren in eine Art nachrüstbare Sensorleiste zu integrieren, anstatt sie fest im Fahrzeug einzubauen. Damit könnte jeder Fahrzeugtyp unterschiedlicher Hersteller nachgerüstet werden«, ergänzt Taudt.

Prellungen, Quetschungen oder Knochenbrüche sind laut einer Statistik der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung DGUV die häufigsten Verletzungen durch Gabelhubwagen oder Gabelstapler, sogenannte Flurfördermittel. Bisher gibt es für diese Fahrzeuge keine Sicherheitstechnik, die vor Unfällen im Fußbereich schützen kann. ■

Gefühl für autistische Menschen

Zielgruppen-Partizipation hat in Forschungsprojekten hohen Stellenwert. Deshalb hat das Fraunhofer IAO im Projekt UFO, das autistischen Menschen mittels VR-basierter Neurofeedback-Trainings die berufliche Inklusion erleichtern soll, an einer Autismus-Awareness-Session seines Konsortialpartners auticon teilgenommen und miterlebt, welche Irritationen durch fehlende Aufklärung ausgelöst werden können.

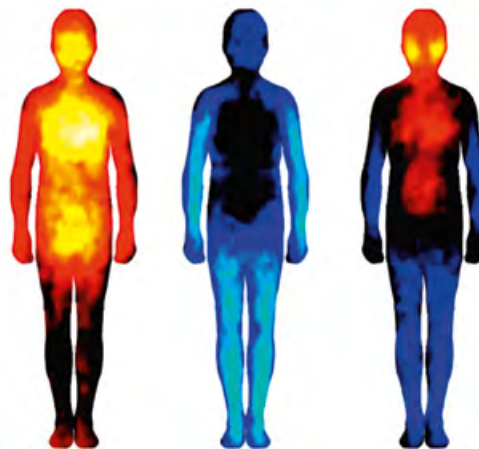
Häufig wird autistischen Menschen Gefühllosigkeit vorgeworfen oder es wird impliziert, an Autismus könne man erkranken. Solche Vorurteile können berufliche Lebensentwürfe scheitern lassen.

Etwa 5 bis 15 Prozent der Menschen haben Schwierigkeiten, die eigenen Gefühle einzuordnen oder bei anderen zu identifizieren – bei autistischen Menschen kommt das mit 40 bis 65 Prozent häufiger vor, jedoch nicht immer und nicht ausschließlich. Gut erforscht ist das sogenannte Double-Empathy-Problem: Ohne erlernte Kenntnisse über Andersartigkeiten liegt das Defizit an Empathie für autistische Menschen eher bei neurotypischen Personen. Sie verwechseln kommunikative Sachlichkeit mit Gefühllosigkeit. Hier will UFO einen weiteren Mehrwert schaffen, indem die Zielgruppe, repräsentiert durch auticon, in den Entwicklungsprozess involviert ist. ■



Mehr über das UFO-Projekt gibt es auf dem Fraunhofer IAO-Blog: <https://s.fhg.de/ufo>

Liebe Depression Scham



In welchen Körperregionen sich welche Emotionen bemerkbar machen, haben finnische Forschende untersucht. Sie vermuten, dass erst die körperlichen Veränderungen die bewusste Wahrnehmung der Gefühle ermöglichen.

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:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Kerstin Beckert, Sirka Henning,
Andrea Kaufmann, Dr. Monika
Offenberger, Mehmet Toprak,
Yvonne Weiß

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie
der Titelstrecke:**

Valéry Kloubert

**Fotografie Artikel Mobilität
der Zukunft:** Philipp Gülland

Druck:
Zeitfracht Medien GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2023

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Auch Kräuter
wachsen in den
neuen Elementen,
die für die Fassaden-
begrünung genutzt
werden können.

Es grünt so grün

Stürme, Starkregen, Dürre – wie können Städte dem Klimawandel trotzen? Eine Möglichkeit: durch flexible Begrünungssysteme, entwickelt am Fraunhofer UMSICHT.

Seit rund acht Jahren forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den innovativen Systemen, die auch CO₂ aus der Luft filtern und Lärm reduzieren können. Nun werden sie in den Markt eingeführt und vom Partnerunternehmen, der Biolit Green Systems GmbH, vertrieben. »Gemeinsam haben wir spezielle Elemente entwickelt, die wir für den Bau von bodenungebundenen begrünten Wänden nutzen«, erklärt Holger Wack, stellvertretender Abteilungsleiter Produktentwicklung am Fraunhofer UMSICHT. »Auf Basis eines mineralischen Werkstoffs bieten wir Privatpersonen genauso wie Städten und Garten-, Landschafts- oder Sportplatzbauern die Möglichkeit, beispielsweise Fassaden oder Garagen flexibel klimaschonend zu gestalten.«

Die Systeme verschönern nicht nur das Stadtbild, sondern sorgen auch für eine bessere Qualität des Aufenthaltes. Unterstützend wirken dabei Lärminderung, Feinstaubbindung und die psychische sowie physische Gesundheitsvorsorge. Weil die Begrünung darüber hinaus Gebäude

dämmt, kühlt und Schatten spendet, spart sie auch Energie.

Um die Elemente zu optimieren, forschen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen an einer eigenen Wand am Fraunhofer UMSICHT. Die verwendeten Pflanzsteine bestehen aus einer Pflanzen- und einer integrierten Bewässerungsrinne. Mit diesem System baut die Biolit Green Systems GmbH frei skalierbare Lösungen für Fassaden, Vorsatz-, Trenn-, Schallschutz- und Vertical-Farming-Wände sowie komplett neue Architektur. »Die Resonanz ist bisher sehr positiv«, erklärt Berthold Adler, Gründer von Biolit Green Systems. »Für schnelle grüne und kostengünstige Ergebnisse säen wir die Wände mit Gräsern und Blumen ein. Aber auch die Bepflanzung mit Kräutern, Erdbeeren, Tomaten und Chili ist ohne Probleme möglich.« Das Fraunhofer UMSICHT begleitet währenddessen die weiterführende Forschung. »Wir schauen aktuell insbesondere auf den positiven Einfluss der vertikalen Begrünung auf das Mikroklima und die Wechselwirkung zur Umgebung«, erläutert Holger Wack. ■

Mobilität der Zukunft

Zukunftsfähige Mobilität:
Dr. Martin Heinrich
vom Fraunhofer ISE will
dafür mit der Karosserie
Solarenergie einfangen.





Was bewegt das Auto von morgen?

Verbrenner-Aus für Neuwagen von 2035 an:
Es muss sich etwas tun auf Deutschlands Straßen.
Wohin geht die Reise?

Von Dr. Janine van Ackeren, Fotografie: Philipp Gülland

Mobilität der Zukunft gleich Elektromobilität: Diese Gleichung scheint aufzugehen – zumindest vermittelt der Blick auf die Straßen diesen Eindruck. Tatsächlich haben sich die weltweiten Verkaufszahlen von Elektroautos – batteriebetriebene, Hybridfahrzeuge, Plug-in-Hybride und Fahrzeuge mit Brennstoffzellen – zwischen 2010 und 2021 mehr als verzehnfacht, von gerade einmal 838 000 auf mehr als 9 345 000 Fahrzeuge. Deutschland lag bei diesem Trend weit vorne: Wurden 2010 weniger als 6000 Fahrzeuge verkauft, waren es 2021 bereits mehr als 750 000. Vor allem die Batterie samt Herstellung und Entsorgung gilt als eine der großen Herausforderungen im Zukunftsfeld E-Mobilität. Forschende an Instituten und Entwickler bei Autoproduzenten arbeiten auf Hochtouren, um die Energiedichte – und somit die Reichweite – durch neuartige Materialkombinationen und neues Zelldesign zu erhöhen, die Sicherheit und Lebensdauer der Batterien zu verbessern und die Produktionskosten zu senken.

Photovoltaik in der Mobilität?

Wirklich nachhaltig fahren E-Autos nur, wenn sie mit nachhaltig produziertem Strom angetrieben werden. Die perfekte Lösung wäre deshalb, die Energie unterwegs dort zu gewinnen, wo sie benötigt wird. Solarenergie vom Autodach ist schon mehr als nur eine schöne Idee: »Gemeinsam mit mehreren Fahrzeugherstellern integrieren wir Solarzellen in die Karosserie«, bestätigt Dr. Martin Heinrich. Der Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, dem mit 1400 Mitarbeitern größten Solarforschungsinstitut Europas, will »möglichst viel des benötigten Stroms autark am Fahrzeug produzieren«. Im Projekt 3D stand die Herstellung gewölbter Solarmodule auf der Agenda, die sich mit ihrer Form unauffällig in Autodächer integrieren lassen. Die Herausforderung bestand vor allem im Laminations-

prozess, über den die PV-Module wind- und wetterfest werden: Wie lassen sich gebogene Module verarbeiten und dennoch der notwendige gleichmäßige Temperatureintrag und der homogene Druck über die gesamte Fläche gewährleisten?

Diese Herausforderung ist gelöst, zumindest wenn es um Einzelfahrzeuge geht: Der Autohersteller Mercedes integrierte das entwickelte Solardach bereits in sein Showcar EQXX – unsichtbar, versteht sich. 117 Solarzellen versorgen die 12-Volt-Batterie, aus der unter anderem das armaturenbrettgroße Display seinen Strom bezieht. Dies entlastet die Hochvoltbatterie merklich – 25 Kilometer von insgesamt mehr als 1000 Kilometer Reichweite trägt die Sonnenenergie vom eigenen Dach bei. Doch bietet ein Autodach Platz für mehr Zellen: »Würde man 366 Solarzellen unsichtbar im Autodach integrieren, lassen sich, so eine erste grobe Abschätzung, übers Jahr 2000 Kilometer Reichweite mit den PV-Modulen generieren – an einem guten Sommertag etwa zehn Kilometer«, rechnet Heinrich vor. Das Gesamtpotenzial ist groß: Nimmt man die Dachflächen aller Fahrzeuge in Deutschland, so erhält man eine Solar-Fläche doppelt so groß wie Liechtenstein.

Der genaue Energiegewinn hängt davon ab, wie viel Sonnenlicht während der Fahrt und beim Parken auf die Module fällt. Kolleginnen und Kollegen von Heinrich untersuchen daher, wie viel Sonnenstrahlen auf den deutschen Straßen ankommen. Im Projekt PV2Go haben sie Sensoren entwickelt, die mehr als sechzig Freiwillige in ganz Deutschland seit Anfang 2022 auf ihrem Autodach durch die Gegend kutschieren. Setzt sich das Auto in Bewegung, erfasst der Sensor sekundengenau Daten und schickt diese per Mobilfunk auf den Server. »Wir nutzen diese Daten, um ein Modell zu entwickeln und zu validieren, das die Solareinstrahlung auf einer bestimmten Fahrstrecke prognostiziert, tages- und jahreszeitabhängig«, erklärt Fritz Haider, Wissenschaftler am Fraunhofer



»Erklärtes Ziel ist es, möglichst viel des benötigten Stroms autark am Fahrzeug zu produzieren.«

Dr. Martin Heinrich, Fraunhofer ISE

»Wir hoffen, durch Kompression der Zelle die Lebensdauer einer Batterie um bis zu zehn Prozent zu verlängern.«

Dr. Luciana Pitta Bauermann, Fraunhofer ISE



ISE. Langfristig könnte der Fahrer eines PV-Autos dann die Route wählen, die am meisten Solarstrom vom eigenen Autodach liefert.

Auch an einem weiteren Versuch, die Energie dort zu erzeugen, wo sie auch verbraucht wird, ist das Fraunhofer ISE beteiligt. Die österreichische Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft ASFINAG arbeitet im Projekt PV-SÜD gemeinsam mit Partnern – darunter auch das Fraunhofer ISE – daran, Autobahnflächen stellenweise mit Photovoltaikmodulen zu überdachen. Sinnvoll ist das besonders dort, wo die Verbraucher nicht weit sind, etwa an Raststätten mit ihren Ladesäulen für E-Autos. Das Konzept ist bereits erstellt, der Aufbau eines Demonstrators an der Raststätte »Im Hegau« an der A 81 soll im Frühjahr 2023 starten. »Um die Kosten niedrig zu halten und weitere Aufbauten zu erlauben, haben wir bewusst auf kommerziell erhältliche PV-Module gesetzt«, sagt Martin Heinrich. Allerdings stellen sich sehr spezielle Herausforderungen. Um den Autoverkehr nicht zu gefährden, dürfen die Module bei einem Bruch beispielsweise nicht splintern. In einem weiteren Schritt werden die Fraunhofer-Forschenden unter anderem untersuchen, welche Energieerträge die Anlage erwirtschaftet und ob die Photovoltaik-Konstruktion Wind und Wetter, darunter auch Schnee, standhält. Neben der Autobahn lassen sich Photovoltaikmodule gleichfalls anbringen: auf Lärmschutzwänden. Die Forschenden des Fraunhofer ISE untersuchen bereits, unter welchen Bedingungen dies sinnvoll ist, wie sich die Module auf bereits bestehenden Wänden montieren und schallabsorbierende Flächen und PV-Module beim Bau neuer Wände miteinander kombinieren lassen.

Längeres Leben für Pouch-Batterien

Sichere, zuverlässige und hocheffiziente Batterien sind der Kern und Knackpunkt der Elektromobilität. Wer ein

Smartphone besitzt, erlebt jedoch immer wieder: Lithium-Ionen-Batterien haben eine begrenzte Lebensdauer. Der Akku funktioniert zuverlässig, doch plötzlich sinkt seine Kapazität rapide. Bei Pouch-Zellen, einer verbreiteten Bauform der Lithium-Ionen-Batterie, die vielfach auch in Elektroautos zum Einsatz kommt, ist einer der Gründe für diese Zellalterung die ungleiche Belastung, die während des Beladens auf die Batterie einwirkt. Die Zellbereiche, die nah an der elektrischen Kontaktierung liegen, dehnen sich tendenziell stärker aus als weiter entfernte Bereiche. Auch werden sie deutlich heißer und altern dadurch schneller. Eine gleichmäßigere Belastung beim Laden könnte also die Lebensdauer der Batterie verlängern – so die Theorie von Forschenden am Fraunhofer ISE. Ob dies tatsächlich der Fall ist, untersuchen sie gemeinsam mit Partnern im Projekt OrtOptZelle. »In einem ersten Schritt wollen wir die lokalen Volumenänderungen und Druckverteilungen in der Batteriezelle besser verstehen. Dazu klemmen wir die Zelle zwischen zwei Metallplatten, in denen Drucksensoren verbaut sind, und untersuchen die Effekte, die beim Beladen auftreten«, erklärt Dr. Luciana Pitta Bauermann, Projektleiterin am Fraunhofer ISE. »Anhand der Daten der Drucksensoren komprimieren wir die Zelle mechanisch so, dass sich die gesamte Batterie gleichmäßig ausdehnen muss. Dazu nutzen wir Metallplatten, in die Stufen gefräst sind – hinten wird die Batterie also stärker gepresst als vorne, um eine lokale Verringerung des ionicen Widerstands zu erreichen, damit die ungleiche Ausdehnung beim Beladen kompensiert wird.« Um herauszufinden, ob die gestuften Metallplatten den gewünschten Effekt hervorrufen, be- und entlädt das Forscherteam die Zellen so lange, bis sie versagen, und misst dabei stets die Ladekapazitäten, um die Alterung der Zellen bestimmen zu können. Darauf folgen sogenannte Post-Mortem-Analysen: Die Zellen werden zerlegt, chemische Untersuchungen verraten, was sich in den verschiedenen Bereichen ►

Möglichst lange mobil:
Dr. Luciana Pitta Bauermann,
Projektleiterin am Fraunhofer
ISE, will die Lebensdauer von
Batteriezellen steigern.



abgespielt hat. »Derzeit können wir noch nicht genau quantifizieren, wie stark sich die Profil-Platten auf die Lebensdauer der Batterien auswirken. Wir hoffen jedoch, die Lebensdauer um bis zu zehn Prozent zu verlängern. Ein Vorteil der Kompression soll ab einem Verlust von fünf Prozent der Zellkapazität schon erkennbar sein«, fasst Bauermann zusammen. Aktuelle Ergebnisse des Projekts zeigen schon eine deutlich höhere Lebensdauer für allgemein verpresste Zellen im Vergleich zu unverpressten Zellen. In einem Nachfolgeprojekt planen die Forschenden, die starren, schweren Metallplatten mit einem Industriepartner durch leichtere und somit alltagstauglichere Kunststofffolien zu ersetzen.

Höhere Energiedichten, mehr Sicherheit

Einer der Hauptkritikpunkte an E-Autos gilt noch immer der begrenzten Reichweite: Wie, bitte, soll man mit so einem Wagen von Norddeutschland in den verdienten Italienurlaub kommen? Das Thema Reichweite greifen Forschende des Fraunhofer ISE gemeinsam mit Industriepartnern im Projekt FLiBatt auf, kurz für »FLiBatt-Feste Lithiumbatterien mit Vliesstoffen« – und sie verbinden es mit der Suche nach mehr Sicherheit. Dafür ersetzen sie die üblichen Lithium-Ionen-Batterien, die auf einem Flüssigelektrolyten beruhen, durch Festkörperbatterien. Dies erleichtert den Einsatz von metallischem Lithium als Anodenmaterial anstelle des derzeit üblichen Graphit. Auf diese Weise steigen die volumetrischen Energiedichten der Gesamtzelle um etwa 85 Prozent. Mehr noch: In Batterien mit Flüssigelektrolyt kann es zum Kurzschluss kommen, der sich ausweiten, den flüssigen Elektrolyten mit seiner Hitzeentwicklung verdampfen und entzünden kann. Zwar ist ein solcher »Thermal Runaway« unwahrscheinlich, doch bleibt ein Restrisiko. Bei Festkörper-Batterien ist ein solcher Batterie-GAU ausgeschlossen.

Noch sind viele Fragen offen im Herstellungsprozess von Festkörperbatterien. So sind beispielsweise die Aluminium- und Kupferfolien, auf denen die Elektroden abgeschieden werden, sowie der Separator zwischen Kathode und Anode zwar bautechnisch nötig, im Hinblick auf die Energiespeicherung aber teurer Ballast. Derzeit sind der Schichtdicke aus produktionstechnischen Gründen Grenzen gesetzt: Zu dünne Folien reißen schnell. »Wir lösen das Problem, indem wir den üblichen Fertigungsprozess umkehren«, sagt Dr. Andreas Georg, Projektleiter am Fraunhofer ISE. »Statt die Elektroden auf den metallischen Folien abzuschneiden und dann über einen Separator zu einer Zelle zu verbinden, beginnen wir mit der Fertigung des Separators und beschichten diesen mit den Elektroden.« Zum Schluss werden die metallischen Ableiterfolien aufgedampft, prinzipiell genügen dabei Dicken in der Größenordnung von einem Mikrometer. Zum Ver-

gleich: Bisher sind 10 bis 20 Mikrometer dicke Folien nötig. Auf diese Weise lassen sich nicht nur Material und Kosten, sondern auch Gewicht einsparen.

Belastungstests für Batterien

Zwar erlauben die Festkörper-Batterien künftig noch ein Quäntchen mehr an Sicherheit, doch sind auch die bisher üblichen Lithium-Ionen-Batterien kein Sicherheitsrisiko – schließlich bauen Hersteller Schutzmechanismen ein. Nun müssen diese jedoch nicht nur im Normalbetrieb für Sicherheit sorgen, sondern auch im Falle eines Unfalls. Entsprechende Crashtests ermöglicht das Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI. »Wir führen Crashtests mit Elektromobil-Batterien auf allen drei Ebenen durch: auf der Zellebene, also den kleinsten Komponenten der Batterie, auf der Modulebene und künftig auch für ganze Batteriepacks«, sagt Dr. Sebastian Schopferer, Gruppenleiter Messtechnik am Fraunhofer EMI. Auf Zellebene testen die Forschenden vor allem das dynamische Materialverhalten. Dabei fanden die Fraunhofer-Forschenden heraus: Eine Zelle verhält sich grundlegend anders, wenn sie in einem Unfall

»Bei einem Crash reicht eine geringere Verformung aus, um kritische Zustände hervorzurufen.«

Dr. Sebastian Schopferer, Fraunhofer EMI

schnellen Verformungen unterworfen wird, als bei einer langsamen Belastung. »Bei einem Crash reicht eine geringere Verformung aus, um kritische Zustände hervorzurufen«, konkretisiert der Experte. Für die Untersuchungen rammt das Forscherteam Stempel unterschiedlicher Geometrie und Geschwindigkeit in die Zellen und vermisst präzise deren Widerstand und Verformung. So lässt sich ermitteln, unter welchen Bedingungen ein »Thermal Runaway« entsteht, bei dem die Zellen in einer chemischen Kettenreaktion unter starker Hitze- und Gasentwicklung versagen und es zu Flambbildung oder ▶

gar Explosionen kommen kann. Neben der mechanischen Charakterisierung stehen auch der »Thermal Runaway« selbst und entsprechende zellinterne Sicherheitsmechanismen auf dem Prüfstand. Um deren Zuverlässigkeit im Versagensfall bewerten zu können, haben die Forschenden ein Hochgeschwindigkeits-Röntgengerät entwickelt – und sich damit ein Alleinstellungsmerkmal geschaffen. Die Herausforderung lag nicht nur in der hohen Bildrate: Etwa 1000 bis 10 000 Bilder pro Sekunde braucht es, um die schnellen Prozesse abbilden zu können. Um das Röntgengerät vor Explosionen und Beschädigung zu schützen, entwickelte das Team eine röntgentransparente, robuste Schutzkammer für die zu untersuchenden Batteriezellen. Auf der Modulebene beschäftigt die Forschenden beispielsweise, ob thermische Isolierungen eine Übertragung des thermischen Versagens von Zelle zu Zelle (die sogenannte Propagation) verhindern können. Neuerdings gehören auch Crashtests an gesamten Batteriepacks bis zu 50 Kilowattstunden zum Portfolio: Das neue Gebäude, in dem dies möglich ist, wurde gerade erst im Dezember 2022 in Betrieb genommen. Hier prallen Impaktoren und Batterien aufeinander. »Aus der Nachbarabteilung, dem Crashzentrum, wissen wir, welche Lasten bei Unfällen auf die Batterie wirken. Dort können jedoch keine Crashtests mit geladenen Batterien durchgeführt werden, die Umgebung ist dafür nicht ausgelegt«, verdeutlicht Schopferer. »Wir extrahieren aus den Gesamtfahrzeug-Crashtests also die Lasten, die auf die Batterie wirken, und fahren diese dann mit unserer Anlage nach.«

Europäische Batteriezellfertigung? Taten statt Worte!

Derzeit werden die meisten Batteriezellen in China gefertigt – wie problematisch eine solche Abhängigkeit werden kann, haben die vergangenen Jahre verdeutlicht. Ein Mehr an wirtschaftlicher Resilienz muss also das Ziel sein. Wie jedoch steht es um die europäische Batteriezellfertigung? Forschende des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI bringen im BMBF-Projekt BEMA2020 II die relevanten Daten zusammen. »Es herrscht größte Dynamik auf dem europäischen Markt«, fasst Dr. Lukas Weymann zusammen. »Zahlreiche Batteriezellhersteller haben deutliche Steigerungen angekündigt, während zeitgleich Start-ups und etablierte Autohersteller in die Massenproduktion von Batteriezellen einsteigen.« Lagen die maximalen Produktionskapazitäten 2022 bei etwas über 100 Gigawattstunden Batteriekapazität in Europa, sollen es 2030 bereits 1700 sein. »Die Herausforderung liegt nicht darin, mehr Akteure dazu zu bewegen, in den nächsten Jahren Batteriezellfabriken in Europa aufzubauen. Der kritische Punkt ist vielmehr: Wie können wir die bereits geplante

europäische Massenproduktion in absehbarer Zeit mit der entsprechenden Qualität tatsächlich realisieren?«, erläutert Fraunhofer ISI-Wissenschaftler Weymann.

Forschung auf dem Weg zur Gigafactory

»Was die Auslegung der Batteriezellen und neue Materialien für die Batterien angeht, sind wir in Deutschland und Europa sehr gut aufgestellt – hintendran sind wir bei der großskaligen Produktion«, pflichtet Dr. Thomas Paulsen bei, Gruppenleiter an der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB. Die Fraunhofer FFB setzt genau an dieser Herausforderung an und dient als offene Forschungsplattform zur Skalierung von Produkt- und Prozessinnovationen. Asien ist führend bei der Batteriezellproduktion und hat kein Interesse, das Wissen mit Europäern zu teilen. »Wir wollen Erfahrung mit der Massenproduktion von Batteriezellen sammeln und – das Wichtigste – als offene Forschungsplattform Erfahrungen austauschen«, erklärt Paulsen. Gestartet ist die Fraunhofer FFB 2019 im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts Forschungsfertigung Batteriezelle (FoFeBat). 2024 – so der Plan – soll sich die Fraunhofer-Einrichtung in Münster zu einem Institut entwickelt haben. Die ersten zwei der insgesamt etwa 19 Schritte der Batteriefertigung laufen bereits: vom Mischen der Batterie-Masse, dem sogenannten Anoden-Slurry, einem Mix aus beispielsweise Graphit, Bindern, Leitadditiven und wässrigen Lösungsmitteln, bis zum Beschichten und Trocknen der Elektroden.

Der Bau der FFB PreFab, ein Gebäude mit 3000 Quadratmetern Forschungsfläche, ist ebenfalls nahezu fertig, die theoretische Produktionskapazität soll bei 200 Megawattstunden pro Jahr liegen. Theoretisch daher, weil für diese Zahl alle Anlagen rund um die Uhr fehlerfrei laufen müssten. Doch das ist ja nicht das Ziel. Vielmehr geht es darum, an Produktionsprozessen und -umgebung zu forschen und die Produktion kostengünstiger, schneller und grüner zu gestalten. Ein Beispiel dafür ist der Trocknungsprozess der Elektroden: Derzeit gleicht das Verfahren einem Pizzaofen – es ist also äußerst energieintensiv. Alternativ arbeiten die Forschenden daher an einem Trocknungsprozess via Infrarotstrahlen, was deutlich energieeffizienter ist. Denkbar ist auch eine Trocknung per Laser. »Zwar ist bekannt, dass diese Verfahren in kleinem Maßstab funktionieren, doch nicht, ob sie sich auch auf eine Gigafactory übertragen lassen. Mit der Forschungsfertigung Batteriezelle schließen wir in Deutschland die derzeit bestehende Lücke zwischen Prototypenstadium und Gigafactory und betreten – indem wir bewusst in die hohen Technologiereifegrade gehen – ein Stück weit Neuland«, begeistert sich Paulsen. 2026 soll auch die FFB ►

»Wir wollen Erfahrung mit der Massenproduktion von Batteriezellen sammeln und – das Wichtigste – als offene Forschungsplattform Erfahrungen austauschen.«

Dr. Thomas Paulsen, Fraunhofer FFB

Mobilität zurückerobern: Die Massenproduktion von Batteriezellen nach Deutschland zu verlagern, hält Dr. Thomas Paulsen von der Fraunhofer FFB für essentiell.

Mit Künstlicher Intelligenz zu mehr Verkehrssicherheit

Geht es um die Mobilität der Zukunft, ist immer wieder das Stichwort »Autonomes Fahren« zu hören. Sitzt statt des Menschen die Künstliche Intelligenz am Steuer, muss dies allerdings ausreichend abgesichert sein – und im Idealfall sogar ein Plus an Sicherheit bringen, als dies bei menschlichen Fahrern der Fall wäre. Bisher werden die Daten, die man für das Etablieren neuer Fahrfunktionen und gegebenenfalls das Training der Künstlichen Intelligenz benötigt, größtenteils von Testfahrern generiert. Doch die Fahrfunktionen werden stetig umfassender: Abschätzungen zufolge wären mehr als 2,5 Milliarden Testkilometer allein für die Absicherung des autonomen Autobahnverkehrs nötig. Eine vielversprechende Lösung, um die Absicherung effizienter zu gestalten, bietet die realistische Simulation von Straßenverkehr. Dazu muss nicht nur der übliche Verkehr valide abgebildet werden, sondern auch seltener vorkommende Unfälle und ihre Entstehungsszenarien. Um dies sicherzustellen, müssen solche Simulationen datenbasiert optimiert werden. Doch gerade zur Entstehung von Unfällen und kritischen Szenarien ohne Unfallfolge existieren kaum Daten – kritische Szenarien lassen sich noch nicht valide identifizieren.

Forschende des Fraunhofer EMI adressieren beide Aspekte. Im Projekt KiSME entwickeln sie einen Filter, der in der Lage ist, kritische Szenarien gezielt zu identifizieren und entsprechende Daten aufzunehmen. Dabei bezieht sich die Kritikalität auf verschiedene Aspekte des Verkehrs. Dazu wollen sie einzelne Metriken unterschiedlicher Komplexität, Eigenschaften und Skalen zu szenariobasierten Sets von Metriken zusammenführen und diese über einen einzelnen Kritikalitätswert abbilden. Prominente Vertreter sind Metriken der Zeitskala, wie die Time-to-Collision oder der räumlichen Skala wie der Distanz zwischen Verkehrsteilnehmern. Im Projekt AVEAS entwickelt das Fraunhofer EMI unter anderem Verfahren zur datenbasierten Optimierung von Verkehrsflusssimulationen.

Biomasse statt Benzin!

Autofahrer haben im vergangenen Jahr über Rekordpreise bei Benzin und Diesel gestöhnt. Zukunftsweisend kann da das EU-Projekt To-Syn-Fuel werden, in dem Forschende des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT ein neues Verfahren zur Kraftstoffgewinnung entwickelt und bereits im Demonstrationsmaßstab umgesetzt haben. »Wir stellen Kraftstoffe aus Klärschlamm her – wir produzieren also nachhaltigen Kraftstoff, der ganz ohne Tank-Teller-Konflikt und die Verwendung von Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen auskommt. Der CO₂-Fußabdruck je gefahrenem Kilometer reduziert sich mit diesem Kraftstoff um mehr als 85 Prozent verglichen mit fossilem Kraftstoff«, konkretisiert Dr. Robert Daschner, Abteilungsleiter am Fraunhofer UMSICHT.

Die Entwicklung basiert auf dem bekannten Verfahren der Pyrolyse, bei dem Biomasse bei bis zu 600 Grad Celsius und Sauerstoffausschluss zu Öl umgesetzt wird. Die Besonderheit des vom Fraunhofer UMSICHT entwickelten TCR®-Verfahrens: »Wir konnten die Qualität des entstehenden Öls deutlich steigern, es ist vergleichbar mit Rohöl. Über herkömmliche Raffinerieprozesse lässt es sich in Kraftstoffe umwandeln, die die wichtigsten Normanforderungen für Benzin und Diesel erfüllen – diese können also ohne Motorumbauten bei gleicher Leistung eingesetzt werden.« Diesen Qualitätssprung haben die Forschenden über einen zweiten Verfahrensschritt geschafft: Sie schalten der klassischen Pyrolyse einen Reformingschritt nach. Dabei nutzen sie das im ersten Schritt entstehende Karbonisat als Katalysator, um die Synthesedämpfe weiter aufzureinigen und aus diesen qualitativ hochwertigeres Öl zu erhalten.

Auf einer Demonstratoranlage läuft der Prozess bereits: In dieser wurden aus 500 Tonnen Klärschlamm bis dato mehr als 50 000 Liter biogenes Rohöl gewonnen. Anders gesagt: Pro Tag lassen sich zehn Tonnen Biomasse zu einer Tonne Rohöl umsetzen. Ein Teil des Rohöls wurde, ebenfalls in der Demonstratoranlage, zu Kraftstoff raffiniert: Mit diesem absolvierte ein Testfahrzeug eine Rundreise von 2000 Kilometern durch Europa. Die Bayernoil Raffineriegesellschaft plant bereits die großvolumige Verwertung von Klärschlamm – 2023 soll eine größere Anlage in Betrieb gehen, 2024 bis 2025 der kommerzielle Betrieb starten. Die Mobilitätswende: Sie ist in vollem Gange.

Mobil auch ohne Benzin und Diesel? Dr. Robert Daschner vom Fraunhofer UMSICHT kommt mit Klärschlamm vorwärts.



»Wir stellen Kraftstoffe aus Klärschlamm her – wir produzieren also nachhaltigen Kraftstoff, der ganz ohne Tank-Teller-Konflikt und die Verwendung von Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen auskommt.«

Dr. Robert Daschner, Fraunhofer UMSICHT



Fab stehen: mit einer Grundfläche von 20 000 Quadratmetern und einer theoretischen Produktionskapazität von 6,8 Gigawattstunden.

Nur noch einen Schritt vor der Produktion im Gigafactory-Maßstab

Während die Forschungsfertigung Batteriezelle die hohen Technologiereifegrade im Blick hat und daher Batterietechnologien wählt, die bereits recht weit entwickelt sind, geht es im Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS der Fraunhofer-Institute für Keramische Technologien und Systeme IKTS, für Schicht- und Oberflächentechnik IST und für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM um neuere Batterietechnologien: »Wir wollen Festkörperbatterien vom Laborlevel auf einen Technikumslevel bringen, in Technology-Readiness-Leveln von drei auf sechs heben«, erläutert Dr. Julian Schwenzel, Leiter des Fraunhofer ZESS. »Wir sind also noch einen Schritt vor der Produktion im Gigafactory-Maßstab: Es geht darum, die Prozesstechnologie zunächst einmal zu entwickeln.« Denn: Die Herstellungsschritte von Festkörper- und Flüssigbatterie unterscheiden sich stark. So muss beispielsweise der Elektrolyt bei der Herstellung einer Festkörperzelle von Beginn an mitverarbeitet werden, während er bei Flüssigzellen erst am Ende der Zellfertigung hinzugegeben wird. »Generell arbeiten wir am ZESS an drei verschiedenen Festkörper-Batterie-Technologien: den Polymer-Batterien, den Thiophosphat-basierten Batterien und den Oxidbatterien«, sagt Schwenzel. Die Polymere punkten vor allem bei der einfachen Verarbeitung. Die Forschenden arbeiten mit neuartigen Polymeren, die temperaturstabiler und leitfähiger sind. Auch haben sie bereits ein Polymer zum Patent angemeldet. »Den Allrounder haben wir bei den Polymeren jedoch noch nicht entdeckt – vielmehr muss man genau schauen, welches Polymer für welche Anwendung geeignet ist«, sagt Schwenzel.

Hochspannend findet Schwenzel die Thiophosphat-basierten Batterien: »Sie sind die Champions in Richtung Leitfähigkeit.« Auch hier gibt es jedoch offene Punkte. So sind die Thiophosphate sehr feuchteempfindlich und müssen in einem Trockenraum verarbeitet werden – herausfordernd für eine mögliche Großproduktion. Die Forschenden arbeiten daher daran, diese Produktionsschritte zu reduzieren und die Nachhaltigkeit voranzutreiben. Die dritte Schiene, die Oxide, stehen noch ganz am Anfang. Die erforderlichen Hochtemperaturprozesse sind schwer zu kontrollieren. Die Forschenden des ZESS müssen also noch einiges an Arbeit leisten, bevor die Festkörperbatterien den etablierten Flüssigbatterien den Markt streitig machen können. ▶



»Der Vorsprung asiatischer Länder bei der Batteriezellproduktion lässt sich nur wettmachen über digitalisierte und damit verbesserte Produktion.«

Joachim Montnacher, Fraunhofer IPA

Batteriezellproduktion plus Digitalisierung

Wie lässt sich der Vorsprung der asiatischen Länder bei der Batteriezellproduktion aufholen? »Solider, ingenieurwissenschaftlicher Maschinenbau reicht da nicht aus«, ist sich Joachim Montnacher sicher. Der Geschäftsfeldleiter Energie am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA zeigt sich überzeugt: »Diesen Vorsprung können wir nur über die Digitalisierung wettmachen – genauer gesagt über digitalisierte und somit verbesserte Produktion.« Die Knackpunkte liegen in der Wirtschaftlichkeit der Fertigung und der Qualität der produzierten Zellen. Denn: Je mehr Zellen in einer Fabrik vom Band laufen, desto stärker fällt der Ausschuss ins Gewicht. »Produziert eine Gigafactory eine Milliarde Zellen pro Jahr und beträgt der Ausschuss zehn Prozent, sortiert man hundert Millionen Zellen aus – das ist eine riesige Materialschlacht«, verdeutlicht Prof. Kai Peter Birke, Leiter des Zentrums Digitalisierte Batteriezellenproduktion ZDB am Fraunhofer IPA. Eine Verbesserung wollen die Forschenden per Digitalisierung über die gesamte Wertschöpfungskette erreichen, unter anderem im Projekt DigiBattPro 4.0. »Wir können unsere Ansätze bei unserem Industriepartner VARTA in der laufenden Produktion auf einer großen, massentauglichen Linie validieren«, schwärmt Florian Maier vom Fraunhofer IPA. »Zudem können wir die gesamte Produktionslinie mieten, um auf einer kompletten Produktionsschicht eigene Versuche durchzuführen. So lässt sich die Industrietauglichkeit der Digitalisierungsansätze in einer realen Umgebung beweisen.«

Das Ziel: Anhand der Daten soll bereits in frühen Prozessschritten – Stichwort »Predictive Quality« – die Qualität der späteren Batterie vorhergesagt werden, um qualitativ niedrige Zellen umgehend auszuschleusen. »Das ist die Spitze der Pyramide, die wir erreichen wollen«, erläutert Maier. »Doch müssen wir zunächst das Funda-

ment bauen, sprich die automatische Datenerhebung: Daten Zehntausender pro Stunde gefertigter Zellen kann schließlich kein Mensch per Hand eingeben.« Via Cloud, Echtzeit-Datenverarbeitung und langfristig auch dem Digitalen Zwilling wollen die Forschenden die Wiederholgenauigkeit des Produktionsprozesses optimieren und die deutsche und europäische Batteriezellproduktion konkurrenzfähig machen. »Der Zug ist nicht abgefahren«, ist sich Birke sicher. »Es besteht immer noch die Chance, die Technologieführerschaft in der nächsten Batteriezellgeneration zurückzuholen. Aber: Es wird ein Jahrzehnt der Produktion, nicht der neuen Zelltechnologien.«

Alternative: Brennstoffzellen

Zu den Elektrofahrzeugen und somit zu den Hoffnungsträgern für die Mobilität der Zukunft zählen auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellen: Sie wandeln den Kraftstoff Wasserstoff mit Luft in Wasser und elektrische Energie um, die wiederum einen Elektromotor antreibt. Die Herausforderungen sind ähnlich wie bei den batteriebetriebenen Elektromotoren: Der Sektor steht unter einem enormem Kostendruck, sprich die Brennstoffzellen müssen günstiger werden. Auch der Bauraum ist knapp; das gilt nicht nur für Pkw, sondern auch für Lkw – die Module müssen daher so klein wie möglich sein. Und ihre Lebensdauer sollte für den Einsatz im Lkw noch gesteigert werden.

Ein Projekt, das die Kosten für die Brennstoffzellen insbesondere für Lkw drücken und gleichzeitig eine kompakte Bauweise erlauben soll, ist SinterGDL des Fraunhofer IFAM in Dresden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer neuartigen PEM-Stack-Einheit, die gleichzeitig kostengünstig und kompakt ist. Herzstück ist das Gas Diffusion Layer, kurz GDL. Dieses ermöglicht, dass Wasserstoff und Luft über die gesamte Fläche – das kann bis zu DIN-A4-Größe sein – gleichmäßig zugeführt

und Wärme, Wasser und Strom abtransportiert werden. »Der Clou: Statt das GDL aus Kohlenstoff zu fertigen, stellen wir es komplett aus Metall her«, sagt Dr.-Ing. Olaf Andersen, Abteilungsleiter am Fraunhofer IFAM. »Auf diese Weise können wir die Fertigung leichter in Richtung Großserie bringen und die Komponenten kostengünstiger produzieren. Auch lassen sich die Metall-Komponenten besser montieren und recyceln.« Denn die Forschenden nutzen massentaugliche Prozesse aus der Papiertechnik – neben Zellulosefasern, Füllstoffen und Additiven verarbeiten sie jedoch auch Metallpulver. Heraus kommt etwas, das einem Blatt Papier ähnelt, durch das enthaltene Metallpulver jedoch eine graue Farbe hat. Auch ist es mit bis zu 200 Mikrometern dicker als Papier, das üblicherweise nur auf 80 Mikrometer kommt. In einem weiteren Schritt verbrennen die Forschenden die

Zellulose bei bis zu 600 Grad Celsius – unter einer speziellen Schutzgas-Atmosphäre, damit das Metall nicht oxidiert. Ziel: Die rückstandsfreie Entfernung aller organischen Bestandteile, sodass nur noch die metallischen Anteile zurückbleiben. Diese werden anschließend bei 1250 Grad Celsius gesintert, wobei sich die Metallteilchen fest miteinander verbinden. Da sich die Eigenschaften des metallischen GDL in weiten Bereichen einstellen lassen, indem die Forschenden beispielsweise andere Fasern einsetzen oder aber eine andere Größenverteilung der Poren in dem entstehenden Metall-GDL wählen, erhoffen sie neben der günstigen massentauglichen Produktion auch, die Leistungsparameter des GDL zu verbessern und damit den Bauraum der Brennstoffzellen reduzieren zu können. Neue Hoffnung also für die Brennstoffzelle als alternativer E-Antrieb. ■

Mobilität braucht Digitalisierung, finden
Florian Maier, Prof. Kai Peter Birke und Joachim
Montnacher vom Fraunhofer IPA (v.l.n.r.).



Stimme aus der Wirtschaft



Thomas Ingenlath kam als Auto-Designer vom Volkswagenkonzern und leitet seit 2017 als CEO die Geschäfte des schwedischen E-Auto-Spezialisten Polestar.

Die Kurve bekommen

Elektrifizierung ist nur der Anfang: Selbst wenn morgen jeder verkaufte Wagen ein Elektroauto wäre, würden die Emissionen der Autoindustrie noch immer weit über ihrem CO₂-Budget liegen. In diesem entscheidenden Moment der Geschichte sollten sich alle relevanten Player zur Zusammenarbeit aufgerufen sehen.

Ein Standpunkt von Thomas Ingenlath, CEO des schwedischen Elektroautoherstellers Polestar

Die Emissionen von Personenkraftwagen machen heute 15 Prozent aller weltweiten Treibhausgasemissionen aus. Vielversprechend ist, dass wir im Gegensatz zu vielen anderen Branchen eine bestehende, skalierbare Lösung für das Klima haben: das Elektrofahrzeug. Bisher hat sich die Automobilindustrie vor allem auf die Elektrifizierung und die schnellere Verbreitung konzentriert. Aber wenn wir ernsthaft etwas für das Klima tun wollen, müssen wir zugeben, dass die Elektrifizierung noch nicht das Ende ist, sondern nur ein Anfang.

Nach dem Pathway-Bericht, von Polestar und dem US-Elektroauto-Hersteller Rivian mit der globalen Unternehmensberatung Kearney erstellt, wird die Autoindustrie ihr globales Kohlenstoffbudget bis 2035 aufgebraucht haben und ab diesem Zeitpunkt die 1,5-Grad-Grenze massiv übersteigen – wobei bis 2050 eine Überschreitung um 75 Prozent zu erwarten ist. Bei der Modellierung eines hypothetischen »Well-to-Wheel«-Szenarios, das von einer aggressiven Einführung batteriebetriebener Elektrofahrzeuge ausgeht, die zudem hypothetisch komplett mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, kommt es immer noch zu einer Überschreitung der Treibhausgasemissionen, wenn nicht gleichzeitig die Emissionen in der Fertigungslieferkette angegangen werden.

Die schockierenden Ergebnisse des Pathway-Berichts hat Polestar gemeinsam mit Rivian und Kearney vor der Veröffentlichung einigen der weltweit führenden Automobilherstellern zur Verfügung gestellt, und wir laden die Branche weiterhin ein, zusammenzukommen, die Daten zu prüfen und mit der Arbeit an Bereichen kollektiver Klimaschutzmaßnahmen zu beginnen. Die Daten zeigen einen Weg auf, der auf drei wichtigen Hebeln basiert. Hebel 1 betrifft die Geschwindigkeit, mit der mit fossilen Brennstoffen betriebene Autos durch Elektroautos ersetzt werden müssen. Hebel 2 ist der Ausbau erneuerbarer Energien in Stromnetzen, Hebel 3 die Verringerung der Treibhausgasemissionen in der Fertigungslieferkette.

Nur durch sofortiges, gemeinsames Handeln aller Automobilhersteller haben wir noch eine Chance: Erstens muss die Branche den Übergang zu Elektrofahrzeugen beschleunigen, indem sie in Produktionskapazitäten investiert und ein festes Datum für das Ende des

»Unser Ziel ist es, bis 2030 ein wirklich klimaneutrales Auto zu bauen.«

Thomas Ingenlath

- ▶ verantwortet seit 2017 als CEO die Geschäfte des Elektroauto-Herstellers Polestar, der seit Juni 2022 an der Nasdaq gelistet ist.
- ▶ wurde 2017 mit dem »Design Hero« ausgezeichnet. Der Preis würdigte seine Verdienste um die Gestaltung eines skandinavischen Designs für Volvo, wo er seit 2012 als »Senior Vice President Design« tätig war.
- ▶ hat zuvor mehr als 20 Jahre Design-Erfahrung in der deutschen Automobilindustrie gemacht: bei Audi von 1991 bis 1994, bei Volkswagen von 1995 bis 2000 und bei Skoda von 2000 bis 2006. Von da an war Ingenlath Direktor im Volkswagen Design Center in Potsdam, das Projekte für alle Marken der Volkswagen-Gruppe betreut.
- ▶ wurde 1964 in Krefeld geboren und hat nach dem Abitur an der Fachhochschule für Gestaltung in Pforzheim und am Royal College of Art in London studiert.

weltweiten Verkaufs von Autos mit fossilen Brennstoffen festlegt. Zweitens muss die Versorgung mit erneuerbarer Energie für globale Netze ausgebaut werden, damit Elektrofahrzeuge ihr volles Potenzial durch grünes Laden ausschöpfen können. Drittens müssen die Fertigungslieferketten für die Herstellung dieser Fahrzeuge dekarbonisiert werden, indem auf kohlenstoffarme Materialien umgestellt und in Lösungen für erneuerbare Energien für Lieferketten investiert wird.

Um die große Herausforderung des dritten Hebels anzugehen und die Lieferketten zu dekarbonisieren, ist Zusammenarbeit der Schlüssel. Gemeinsam können wir ein klares Signal an die Zulieferer senden, indem wir unsere kollektive Kaufkraft nutzen und Nachfragekoalitionen bilden sowie gemeinsam auf ehrgeizige Ziele hinarbeiten. Im April 2021 haben wir das Polestar-0-Projekt ins Leben gerufen. Unser Ziel ist es, bis 2030 ein wirklich klimaneutrales Auto zu bauen, indem wir die Art und Weise, wie Autos hergestellt werden, ändern, anstatt uns auf irreführende Kompensationsprogramme zu verlassen. Das bedeutet, dass wir alle CO₂e-Quellen in der gesamten Lieferkette eliminieren wollen, von der Rohstoffgewinnung über die Material- und Fahrzeugproduktion bis hin zur Auslieferung und zum Ende des Lebenszyklus.

Bislang haben wir mit mehr als 20 der weltweit führenden Automobilzulieferer aus verschiedenen Bereichen der Lieferkette Forschungsvereinbarungen unterzeichnet, darunter deutsche Marktführer wie das globale Technologieunternehmen ZF, mit Vitesco, einem Anbieter von Antriebs- und Kraftübertragungstechnologien für die Automobilindustrie, und Schlötter, einem Spezialisten für Galvanotechnik.

Wir freuen uns, dass inzwischen so viele unsere Vision teilen und sich an diesem Projekt beteiligen wollen, aber die Suche geht weiter. Es werden noch weitere Partner aus dem akademischen Bereich und aus der Wirtschaft benötigt, und wir konzentrieren uns auf Partner für Rohstoffe, biobasierte Chemikalien, Polymere, elektrische Komponenten, Edelmetalle und die Produktion anderer Grundstoffe.

Autohersteller und Industrie müssen über den Wettbewerb hinausschauen – die Klimakrise ist eine gemeinsame Verantwortung. Betrachten Sie dies als einen Aufruf zur Zusammenarbeit. ■

Schwerpunkt Sicherheit:
Die VR-Brille ermöglicht
Kindern heute einen
wichtigen Perspektiven-
wechsel.



Raus aus der Gefahrenzone

Verkehrserziehung neu gedacht: Mittels smarter Datennutzung und Virtual Reality sollen Teenager davon überzeugt werden, auf der Straße vorzudenken und der Sicherheit Vorfahrt zu gewähren.

Von Beate Strobel

Schwerpunkt richtiges
Verhalten: Geübt wurde in
den 1960er-Jahren auf dem
Verkehrsübungsplatz.



Morgens zwischen 7 und 8 leben Kinder in Deutschland gefährlich. Diese Stunde ist, so sagt es die Statistik, die gefährlichste des Tages. Vor allem, wenn der so neblig und nasskalt beginnt wie an diesem Wintermorgen im sächsischen Hartha. Die Schülerinnen und Schüler, die hier zum Martin-Luther-Gymnasium streben, tragen meist dunkle Parkas und blicken aus fellbesetzten Kapuzen wahlweise auf ihre Füße oder auf das Handy-Display. Andere radeln auf der Straße nebeneinander, gerne freihändig. In zweiter Reihe parken Autos; Türen werden unversehens aufgerissen und wieder zugeworfen. Ein kurzes Winken, schon brausen Vater oder Mutter davon. Haben sie zuvor über die Schulter und in den Seitenspiegel geschaut?

Rund 22 000 Kinder zwischen 6 und 15 Jahren wurden 2021 im Straßenverkehr verletzt. Die große Mehrheit verunglückte in der Morgenstunde auf dem Weg zur Schule; weitere statistische Spitzen gab es um die Mittagszeit und zwischen 15 und 17 Uhr. Mit 38 Prozent waren die meisten der jungen Unfallopfer auf dem Rad unterwegs, 21 Prozent zu Fuß. Zahlen, die das mulmige Gefühl der Eltern statistisch untermauern, mit dem sie ihren Nachwuchs Richtung Schule verabschieden: »Sei vorsichtig!«

Die vergessene Altersgruppe

Knapp 90 Kilometer von Hartha entfernt, im Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktur IVI in Dresden, arbeiten drei Forschende daran, diese Unfallstatistik zum Besseren zu verändern. Die Zehn- bis 15-Jährigen seien »die vergessene Altersgruppe«, sagt Unfallforscherin Maria Pohle. »Radfahrende Jungen in diesem Alter haben das allerhöchste Risiko, im Straßenverkehr zu verunglücken«, ergänzt Dr. Christian Erbsmehl, Gruppenleiter Fahrzeug- und Verkehrssicherheit. Trotzdem legt die schulische Verkehrserziehung – nach diversen Programmen für Vor- und Grundschüler sowie Fünftklässler – ausgerechnet bei den Teenagern eine Pause ein. Genau in der Phase, in der jugendliche zunehmend selbstständig unterwegs sind. Hinzu kommt, dass in diesem

Lebensabschnitt »das Gehirn wegen Umbau geschlossen ist«, wie Verkehrspsychologin Nora Strauzenberg scherzt: Pubertät ist, wenn der Fahrradhelm zum Problem-Accessoire wird und die rote Verkehrsampel zur Challenge.

Die drei Wissenschaftler haben in einem vom Bundesverkehrsministerium geförderten Projekt die Fraunhofer IVI Accident Prevention School (FAPS) entwickelt – einen speziell auf Jugendliche ausgerichteten Präventionskurs, der durch echte Unfalldaten aus dem Schulumfeld der Kinder und den Einsatz neuer Technologien nachhaltig wirksame Aha-Erlebnisse provozieren soll. »FAPS«, erklärt Erbsmehl, »will nicht belehren, sondern überzeugen.« 2017 mit dem Deutschen Mobilitätspreis des Bundesverkehrsministeriums ausgezeichnet, wird FAPS derzeit sachsenweit unter anderem vom Kooperationspartner ADAC Sachsen in den 8. und 9. Klassen durchgeführt.

»Unsere Methode will nicht belehren, sondern überzeugen.«

Dr. Christian Erbsmehl,
Unfallforscher am Fraunhofer IVI

»Für wie sicher haltet ihr euren täglichen Schulweg?« Das will Michael Preller, Verkehrserzieher des ADAC Sachsen, jetzt von den Achtklässlern des Martin-Luther-Gymnasiums in Hartha wissen. Einhelliger Tenor in der Klasse: alles easy, kein Problem. Anschließend lässt Preller die Jugendlichen auf einer Straßenkarte ihren Schulweg einzeichnen. An vielen Kreuzungen in Hartha sind rote und grüne Punkte zu sehen. Sie stehen für Rad- und Fußgängerunfälle, die dort passiert sind – je größer der Punkt, desto mehr Verkehrstragödien. Anschließend zählen die Kinder die unfallgefährdeten Stellen entlang ihres Schulwegs. Meist sind es zwi-

schen sieben und zehn. Alles easy, kein Problem?

Auf den Straßen gilt das Recht des Stärkeren

Auch das nächste Modul findet auf dem Papier statt: In Kleingruppen sollen die Schülerinnen und Schüler Grafiken dechiffrieren, in denen es um Rad- und Fußgängerunfälle geht: Wer waren die Beteiligten, wer die Unfallverursacher – und wer hat welche Schäden davongetragen? Während eine Gruppe nach der anderen ihre Analyse vorträgt, kristallisiert sich jene Erkenntnis heraus, die FAPS-Mitbegründer Christian Erbsmehl als eine der Kernbotschaften des Programms bezeichnet: Rad- oder Fußgänger sind bei gut der Hälfte der Unfälle nicht die Verursacher. Doch in nahezu 100 Prozent der Fälle sind sie es, die verletzt oder gar getötet werden. In der Verkehrserziehung gehe es bislang »zu sehr darum, was ich richtig mache – und nicht, was mich schädigen kann«, findet Verkehrspsychologin Nora Strauzenberg. FAPS hingegen will genau dafür sensibilisieren: Dass man sich auch dann nicht sicher fühlen darf, wenn man die Straßenverkehrsordnung einhält. Was auf der Straße zählt, ist letztendlich das Recht des Stärkeren, oder zumindest das Recht des Größeren: Lkw gegen Fahrrad, Auto gegen Fußgänger, Erwachsener gegen Kind.

Die Unfalldaten, auf die FAPS aufbaut, basieren auf Datensätzen der polizeilichen Software EUSKa (Elektronische Unfallsteckkarte), die eine Auswertung ▶

22 000 Kinder

zwischen 6 und 15 Jahren wurden 2021 im Straßenverkehr verletzt, die meisten davon auf dem morgendlichen Weg zur Schule.



Wichtige Analyse:
Warum kam es zu
dem Unfall – und
was lernen wir
daraus?

anonymisierter Unfallberichte mit geografischen Bezügen ermöglicht. Nordstraße, Karl-Marx-Straße, Straße des Friedens: Die Straßennamen und Kreuzungen in den Unfallberichten, über die sich die Achtklässler des Gymnasiums in Hartha nun beugen, sind Teil ihres Alltags. Dass dort, wo sie täglich vorbeikommen, beispielsweise ein Kind beim Überqueren der Straße von einem nach rechts abbiegenden Lkw überfahren und tödlich verletzt wurde, löst betroffene Stille im Klassenzimmer aus.

»Wie könnt ihr verhindern, dass euch so etwas passiert?«, will Preller von der Klasse wissen. »Besser aufpassen?«, antwortet ein Schüler fragend. »Indem ihr vorausschauend und defensiv fahrt«, präzisiert es Preller. Sicherheitshalber wiederholt er die Schlüsselwörter noch einmal: »Vorausschauend! Und defensiv!« Doch die Heranwachsenden kennen lediglich die Perspektive des Fußgängers oder Radfahrers und können die Reaktionen der anderen Verkehrsteilnehmer nur schwer voraussehen. Was sieht ein Autofahrer tatsächlich, während er ausparkt? Und kann der nach rechts abbiegende Lkw-Fahrer den Menschen auf dem Radweg überhaupt entdecken, der ebenfalls grün hat, aber geradeaus fahren will?

Preller teilt jetzt Tablets an die Schülerinnen und Schüler aus, auf deren Display eine stilisierte Kreuzung zu sehen ist. Mit dem Finger können die Teenager unter-

schiedliche Verkehrsteilnehmer auf der Straße platzieren: Lkw, Autos, Radfahrer, Fußgänger. In einem zweiten Fenster wird sichtbar, was der Auto-, Lkw- oder Radfahrer gerade sieht. Immer wieder schieben die Jugendlichen den Radler rechts neben dem Lkw ein Stück weiter nach vorne, bis er zumindest klein im Sichtfenster des Fahrers auftaucht. »So weit vorne?«, wundert sich ein Mädchen. »Das ist ja schon fast auf der Kreuzung!«

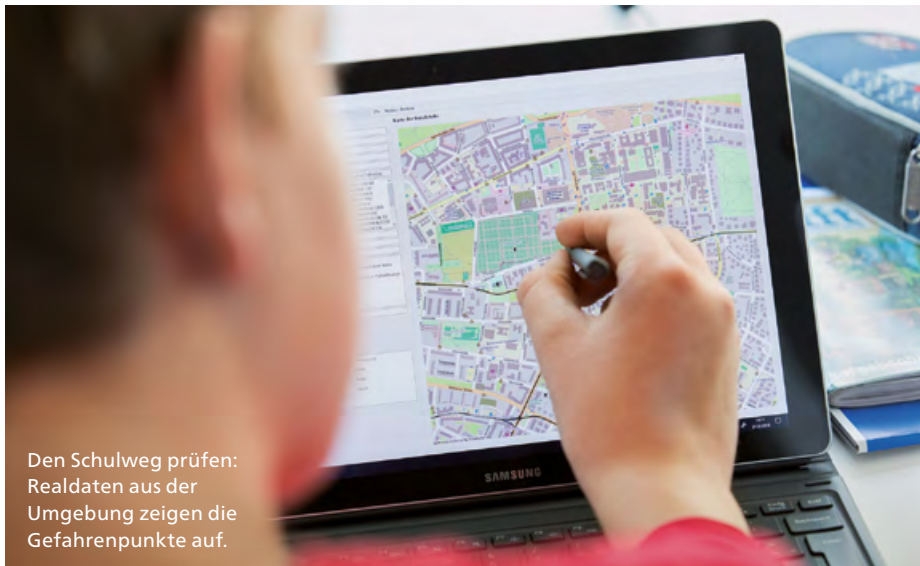
»VR bietet die Möglichkeit, einen Unfall emotional zu erleben, ohne sein Leben zu riskieren.«

Nora Strauzenberg, Verkehrspsychologin am Fraunhofer IVI

Die Arbeit mit den Tablets fasziniert die Kinder deutlich mehr als die Auswertung von Grafiken auf dem Papier zuvor. Die Fraunhofer IVI-Forschenden wollen künf-

tig noch ein Stück weitergehen und typische Unfallszenarien über eine VR-Brille virtuell erlebbar machen. Wie bereits bei FAPS, ist bei dem Folgeprojekt PAPS-XR (»Public Accident Prevention School with eXtended Reality«) neben anderen Partnern aus der Digitalwirtschaft wieder das Unternehmen Wildstyle Network GmbH involviert. Lieber als das Kürzel PAPS-XR verwendet Co-CEO Steve Nitzschner allerdings die Formel »Collision Zero« – nie wieder sollen Kinder in Verkehrsunfälle verwickelt werden. Dass diese Vision wenig realistisch ist, stört Nitzschner nicht: »Lieber zu groß denken, als zu kurz springen«, findet er. Wenn es um die Sicherheit von Kindern und Jugendlichen geht, dürfe man ruhig »ein bisschen großwahn-sinnig« sein.

Der Prototyp einer solchen VR-Brille existiert bereits. Wer diese aufsetzt, findet sich optisch auf der Kreuzung aus dem Tablet wieder und kann per Joystick auswählen, ob er im Auto, im Lkw oder auf dem Fahrrad unterwegs sein möchte. Mit dem Rad an der Kreuzung rechts am Lastwagen vorbeischnüffeln und dann abbiegen? Keine gute Idee: Plötzlich taucht links im Sichtfeld der Truck auf. Der Crash ist nur virtuell, fühlt sich aber an, als würde man mit dem Fahrrad zu Boden stürzen. Als Lkw-Fahrer hingegen ist beim ordnungsgemäßen Blick nach rechts hinten nichts und niemand zu sehen. Doch beim Rechts-



Den Schulweg prüfen:
Realdaten aus der
Umgebung zeigen die
Gefahrenpunkte auf.

abbiegen ruckelt der Wagen erst, dann stoppt er abrupt. Eine Schrecksekunde, in der man die Angst des Menschen am Lenkrad erahnt: Habe ich gerade jemanden überfahren?

Balance zwischen Spaß und Ernst

»Wir wollen die Lernerfahrung so gestalten, dass sie tatsächlich verhaltensverändernd wirkt«, betont Steve Nitzschner. Dafür muss diese so real wie möglich sein. »Virtual Reality bietet die Möglichkeit, einen Unfall emotional zu erleben, ohne dabei Leib und Leben zu riskieren«, ergänzt Nora Strauzenberg. Allerdings, so Erbsmehl, dürfe man gerade bei Jugendlichen die Idee der Gamification nicht überreizen. »Wir wollen, dass sie das Thema ernst nehmen und nicht – ähnlich wie in einem Computerspiel – virtuell Unfälle provozieren.« Dass diese Sorge begründet ist, sieht man in der 8. Klasse des Martin-Luther-Gymnasiums: Dort lassen einige Jungs bereits den Tablet-Lkw mit dem Finger über die Kreuzung schleudern und testen, wann er den Radfahrer maximal erwischt.

Die große Vision ist allerdings, die Idee der interaktiven und immersiven Verkehrserziehung nicht nur deutschlandweit in weiterführenden Schulen zu implementieren, sondern im Web und als App allgemein verfügbar zu machen – ohne dabei auf den individuellen Aspekt zu verzichten.

Dafür müsse man allerdings »ganz Deutschland unfalldigitalisieren«, erklärt Christian Erbsmehl: Nur so könnten beispielsweise Eltern mit ihren Kindern den realen Schulweg digital abgehen und kritische Situationen einüben. Voraussetzung dafür ist, dass das Fraunhofer IVI die Unfalldaten aus allen Bundesländern nutzen darf. Bisher ist dies nur in Sachsen, Brandenburg, Hessen, Sachsen-Anhalt, Hamburg, Bremen und Bremerhaven der Fall. Denn auch wenn die Daten komplett anonymisiert sind, haben sie doch stets mit dem Leid einzelner Menschen zu tun, was einen besonders verantwortungsbewussten Umgang erfordert. »In jedem Bundesland muss es also einen Menschen geben, der die Nutzung dieser Daten zugunsten der Sicherheit im Verkehr befürwortet und die Verantwortung für die Datenweitergabe übernimmt«, erklärt Unfallforscher Erbsmehl. »Daran scheitert es mitunter.«

Das allerdings hält die Forschenden des Fraunhofer IVI nicht davon ab, die Vision von »Collision Zero« unermüdlich weiter zu verfolgen. Die Vorstellung, dass Kinder sich morgens um 7 Uhr nur noch Sorgen um vergessene Hausaufgaben machen müssen, ist zu schön, um sie aufzugeben. ■

Hier geht's zum Podcast:



Knapp 12 000 Jugendliche zwischen 10 und 15 Jahren verunglückten 2020 in Deutschland im Straßenverkehr (prozentuale Aufteilung nach Art der Verkehrsbeteiligung).

Mitfahrer im Auto
21,1%



Fußgänger
15,9%

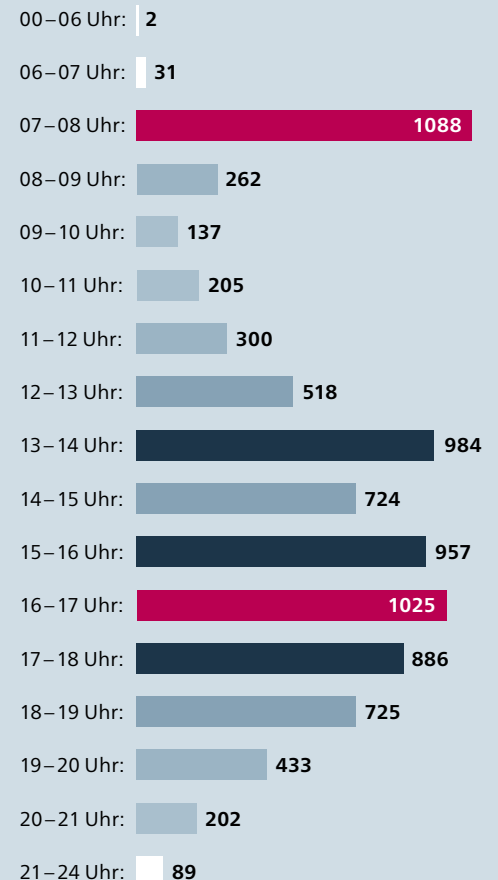


Radfahrer
56,8%



Sonstige
6,2%

Zu diesen Uhrzeiten verunglückten
Radfahrer zwischen 6 und 15 Jahren 2020
im Straßenverkehr (Zahl der Unfallopfer).



Quelle: Stat. Bundesamt

Wo Larven für die Umwelt fressen

Die Früchte der Ölpalme sind in vielen Produkten enthalten, genießen jedoch keinen allzu guten Ruf. Larven der Schwarzen Soldatenfliege könnten eine alternative Fettquelle sein. Wie das gehen soll, wird auf dem Fraunhofer-Campus in Stuttgart-Vaihingen erforscht.

Von Kerstin Beckert

Palmöl, das klingt nach Sonne, Strand und tropischem Flair. Mit Urlaubsfeeling hat der pflanzliche Rohstoff aber nichts zu tun, eher mit Big Business. Das Geschäft blüht. Laut Statistischem Bundesamt hat Deutschland im Jahr 2021 fast 667 000 Tonnen des Pflanzenfetts eingeführt und weiterverarbeitet. Dazu rund 124 000 Tonnen Palmkernöl. Beide Produkte finden sich beispielsweise in Tierfutter und Schokolade, Waschmitteln und Fertigsuppen, Shampoo und Keksen. Der hohe Verbrauch führt zu den bekannten Problemen: die Abholzung des Regenwaldes, Monokulturen, Artensterben.

Wie also künftig unabhängiger werden von den Produkten der Ölpalme? Ein Ausweg könnten die Larven der Schwarzen Soldatenfliege *Hermetia illucens* sein. Sie enthalten neben Wasser und Protein auch gesättigte Fettsäuren, die ähnliche Eigenschaften haben wie Palmkernöl und das verwandte Kokosfett.

Um die Gewinnung aus den *Hermetia*-Larven möglichst effektiv zu gestalten, wird auf dem Fraunhofer-Campus in Stuttgart-Vaihingen seit Oktober 2021 auf etwa 200 Quadratmetern die Pilotanlage einer Insekten-Bioraffinerieanlage (InBiRa) aufgebaut. Koordiniert wird das bundesweite Forscherteam von Susanne Zibek. Die promovierte Ingenieurin ist Projektleite-

rin am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB.

Bioraffinerie für die Insektenlarven

Die Fliegen-Larven sind gefräßig, stets hungrig und bei der Auswahl ihres Futters nicht allzu wählerisch. Nur organisch muss es sein. Das macht sie für das Team um Susanne Zibek so interessant. Denn hierzulande fällt einiges an Bio- und Speisemüll an, etwa im Lebensmittelhandel oder in Kantinen. Auch Kaffeesatz und Obstschalen aus der Biotonne gehören dazu.

Den organischen Abfall möchte das Forscherteam mithilfe der Fliegenlarven in höherwertige Stoffe umwandeln, ihn aufwerten. Upcycling nennt man das dann. Etwa 30 bis 50 Prozent der Lebensmittelreste kommen dafür infrage. In einem ersten Schritt konzentrieren sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf überlagertes Obst, Gemüse, Backwaren und abgelaufene Milchprodukte, die auch nicht mehr etwa über die Tafeln angeboten werden können. Die Restware erhalten sie von Lebensmitteldiscountern. Auch den Abfall aus Mensen und Kantinen können sie dank einer Ausnahmegenehmigung für ihre Forschungszwecke verwenden. Kantenmüll enthält auch Fleisch, und das dürfte laut Gesetz nicht im Futter für Nutztiere enthalten sein.



Ziel ist, »aus Lebensmittelresten höherwertige Nachfolgeprodukte« zu produzieren.



Nicht schön,
aber nützlich:
die Schwarze
Soldatenfliege

Foto: Arne Dedert/picture alliance/dpa

Aus Biomüll wird Fliegenfutter

Die gelieferten organischen Reststoffe werden zerkleinert und weiterverarbeitet, sollen so die Fliegenlarven ernähren. »Wir suchen nach einer Futtermischung, auf der unsere Tiere optimal wachsen«, erklärt Christian Schmidle, Doktorand am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP der Universität Stuttgart. Der Chemiker und angehende Verfahrenstechniker ist seit April 2022 an der Planung der Anlage beteiligt.

Die richtige Zusammensetzung der Nahrung ist wichtig. Denn die zunächst nur wenige Millimeter großen Larven müssen ihr Gewicht innerhalb von 14 Tagen vervielfachen, um zu etwa zwei Zentimeter großen Tönnechen zu werden. Dazu leben sie anfangs in einem wahren Hermetia-illucens-Paradies. Das besteht aus blauen Wannen, die randvoll mit Futtermittel sind. Die Larven fressen sich erst einmal satt und rund, ans Ausbüxen denken sie eher nicht. »Das wäre wohl möglich«, so Christian Schmidle. »Die Tiere könnten flüchten, wenn es ihnen schlecht geht, wenn die Futtermittelzusammensetzung nicht optimal ist.« Doch dazu scheinen sie keine Lust zu haben. Lieber graben sie sich in das warme Substrat ein – und wachsen.

Aus einem Gramm frisch geschlüpfter Larven werden in zwei Wochen rund acht Kilogramm sogenannte Larvenmasse. Die Wanne verlassen die Tiere erst kurz bevor sie sich verpuppen. Der perfekte Zeitpunkt, um sie einzusammeln. Danach werden die Tiere bei erhöhter Temperatur schnell inaktiviert. Das Verfahren ähnelt jenem, mit dem Nordseegarnelen auf Kuttern behandelt werden, bevor man sie pult.

Das in den Larven enthaltene Fett sollte möglichst nachhaltig vom Protein getrennt werden. Zunächst werden die Larven getrocknet und in eine Ölpresse gefüllt, wie sie auch für die Sonnenblumen- oder Rapssamen verwendet wird. In einem Rohr wird die Larvenmasse durch eine Förderschnecke zerkleinert und zusammengepresst. Dadurch erhöhe sich im Inneren des Rohrs der Druck, erklärt Chemiker

Schmidle. Das in den Larven enthaltene Fett wird herausgepresst und könne so abgetrennt werden. Übrig bleibt der sogenannte Presskuchen mit Proteinen und Chitin aus den Larvenhäuten. Restfette sind ebenfalls enthalten. Sie werden mithilfe eines Lösungsmittels extrahiert.

Der gewonnene Fettanteil ließe sich, ähnlich wie Pflanzenöle, zu Biodiesel, Glycerin und Schmierstoffen weiterverarbeiten. Die Herstellung von Seifen wäre ebenfalls eine Möglichkeit. Allerdings seien diese dann natürlich nicht mehr vegan, sagt Schmidle. Bevorzugt sei das Larvenfett für Tenside geeignet – also etwa für Waschmittel, da hier oft Kokosfett und Palmkernöl aufgrund der mittelkettigen Fettsäuren genommen werden. Diese findet man auch im Larvenfett. Eine nachhaltige Alternative zu den aus den Tropen importierten Fetten wäre es daher allemal.

Auch für das gewonnene Protein gibt es eine breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten. So könnte das Insekten-Eiweiß zu Haarmasken, Bindemitteln, biologisch abbaubaren Verpackungsfolien und Klebstoffen (etwa für Holz) weiterverarbeitet werden.

Weitgehend geschlossener Kreislauf

Die Reststoffe aus den Wannen werden gesondert behandelt. Dazu gehören die Larvenhäute. Sie enthalten etwa 40 Prozent Chitin, aus dem sich chemisch zum Beispiel wasserundurchlässige Beschichtungen für Textilien herstellen lassen. Bisher gibt es erste Ansätze mit Chitin beziehungsweise Chitosan aus Krabben-schalen.

Selbst Lebensmittelreste aus der Futtermischung und der Larvenkot sollen später verwertet, nichts weggeworfen werden. Sie könnten sich für die Herstellung von Düngemittel oder Biogas eignen. Denn die Insekten-Bioraffinerie stellt laut Schmidle nur einen Zwischenschritt auf dem Weg des Mülls von der Abfalltonne zum Biogas dar. Mit dem Ziel, »aus Lebensmittelresten höherwertige Nachfolgeprodukte« zu produzieren. Upcycling halt. ■

Influenzaviren (rot), die menschliches Lungengewebe (türkis) infizieren. Unter dem konfokalen Laserscanning-Mikroskop lassen sich sogar einzelne Zellenbewegungen beobachten.

Einatmen – und aufatmen!

Ein Spray inhalieren und schon sind Fieber, Schnupfen und Husten verschwunden? Mit RNA-basierten Virostatika könnte das bald möglich werden.

Von Dr. Sonja Endres

Viren verändern sich ständig. Das ist ihre Überlebensstrategie. Nur so gelingt es ihnen, das Immunsystem immer wieder zu überlisten und sich unerkannt in den Körpern ihrer Wirte zu vermehren. Medikamente und Impfstoffe müssen unentwegt schritthalten mit den Verwandlungskünstlern – wirksame Virostatika sind daher rar, Impfstoffe gegen Grippe, Corona und Co müssen permanent an neue Virusvarianten angepasst werden. Die RNA-Technologie macht das schneller und leichter möglich – und gibt auch bei Medikamenten Anlass zur Hoffnung: »RNA-basierte Wirkstoffe ließen sich in wenigen Wochen an neue Virusvarianten adaptieren«, ist Prof. Armin Braun überzeugt. Der Bereichsleiter Präklinische Pharmakologie und Toxikologie am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover forscht zusammen mit seinem Team und in enger Kooperation mit Prof. Axel Schambach von der Medizinischen Hoch-

schule Hannover an RNA-basierten Medikamenten gegen Viruserkrankungen.

Die Forscherinnen und Forscher nehmen zunächst das Parainfluenzavirus ins Visier. Es zirkuliert vor allem unter Kleinkindern, die häufig ihre Eltern und andere Kontaktpersonen infizieren. Erkrankte leiden an grippalen Symptomen wie Fieber, Schnupfen oder Husten. Bei Kindern und älteren Menschen mit geschwächtem Immunsystem entzündet sich oft auch der tiefere Atemwegstrakt. Es kommt zur Bronchitis, bei Kindern entwickelt sich manchmal Pseudokrupp: Die Infektion führt zu einer Schwellung der Schleimhäute am Kehlkopf und der oberen Luftröhre, das Luftholen fällt schwer. In seltenen Fällen wird die Atemnot so groß, dass Ersticken-gefahr droht. Besonders gefährlich ist das Parainfluenzavirus für Organ- oder Knochenmarktransplant-Patientinnen und -Patienten, deren Immunsystem künstlich geschwächt wurde, damit es das fremde Gewebe nicht abstößt. Sie sind dem Virus schutzlos ausgeliefert, denn bisher gibt es weder ein Medikament noch eine Impfung. 40 Prozent der Infizierten sterben. Auch für Menschen mit chronischen Atemwegserkrankungen wie Asthma oder COPD ist das Virus eine ernsthafte Bedrohung. Eine Infektion löst einen akuten Krankheitsschub aus, der eine kostspielige stationäre Behandlung notwendig macht.

Braun und seinem Team ist es gelungen, ein RNA-Therapeutikum zu entwickeln, das den Prozess der Virenreproduktion im Körper blockiert. »Viren vermehren sich nicht selbst. Sie lassen sich vermehren. Dafür nutzen sie die Maschinerie der Zellen, in die sie eindringen«, erklärt er. Die Proteinfabriken der Zellen, die Ribo-

somen, stellen dann nicht mehr Proteine für den Körper her, die zum Beispiel als Baumaterial für Muskeln, Organe, Blut, Enzyme oder Hormone zur Verfügung stehen, sondern Protein-Bausteine, aus denen sich das Virus neu zusammensetzt. »Wir machen dem Virus einen Strich durch die Rechnung, indem wir dafür sorgen, dass der Bauplan für einige seiner Proteine unleserlich wird«, sagt Braun. Dafür bringen er und sein Team eine speziell auf das Virus abgestimmte RNA in die Zelle ein, die dort den sogenannten RISC-Komplex aktiviert – einen körpereigenen Abwehrmechanismus. Er führt vereinfacht gesagt dazu, dass eine komplementäre RNA an der Viren-RNA

bindet und so das Auslesen der Protein-Bauanleitungen unmöglich macht. »Es ist im Grunde wie ein Puzzle, in dem wir zwei oder drei Teile entfernen. Das Virus kann sich nicht mehr zusammenfügen. Damit ist die komplette Infektionskette unterbrochen.« Je mehr Viren-Proteine fehlen, desto geringer das Risiko, dass das wandelbare Virus lernt, ohne diese zu leben.

Doch die Forscherinnen und Forscher gehen weiter. Sie können gezielt besonders wichtige Viren-Proteine ausschalten und so das Risiko einer erfolgreichen Mutation weiter senken. »Bestimmte Viren-Proteine können nur sehr schwer verändert oder ersetzt werden. Das gilt zum Beispiel für das Protein, das es dem Virus ermöglicht, sich an die Zelle anzuhängen und in sie einzudringen«, erklärt Braun. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz gelang es den Kooperationspartnern um Schambach von der Medizinischen Hochschule Hannover, in Gen-Datenbanken diese bedeutenden Proteine und die entsprechenden RNA-Sequenzen im Virus zu identifizieren. »Das Besondere ist, dass wir unsere RNA darauf abstimmen und damit genau auf die Achillesferse der Viren zielen können«, so Braun – mit großem Erfolg: Die Virenvermehrung in Zell- und Gewebekulturen konnte um über 90 Prozent reduziert werden.

Die Anwendung des RNA-Therapeutikums soll inhalativ als Aerosol erfolgen. So können alle respiratorischen Viren auf dem Atemwegsepithel problemlos erreicht werden. Die therapeutische RNA wird zu diesem Zweck in liposomale Formulierungen, also in Fetttropfchen, verpackt. Sie sorgen dafür, dass die instabile RNA im Körper nicht zerfällt und in die Zelle eindringen kann. An der perfekten Form-

ulierung arbeiten die Forscherinnen und Forscher zurzeit noch. Im nächsten Schritt wollen sie testen, wie gut das RNA-Therapeutikum im Tiermodell funktioniert. Im Rahmen einer klinischen Studie könnte es 2025 erstmalig an Patientinnen und Patienten verabreicht werden. Fraunhofer-Forscher Braun: »Wenn wir erfolgreich sind, kann das Verfahren zukünftig auf neue, pandemische Viren angewendet werden.« Die Technologie hat auch die Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIND überzeugt. Sie fördert das Projekt nun bereits in der zweiten Runde. Schlechte Nachrichten für das Virus. Gute Nachrichten für uns Wirte. ■

»RNA-basierte Wirkstoffe ließen sich in wenigen Wochen an neue Virusvarianten adaptieren.«

Prof. Armin Braun,
Fraunhofer ITEM





Nachhaltig bebaglich

Heizen mit fossilen Brennstoffen? Auf lange Sicht muss sich Deutschland von Gas, Öl und Holz als wärmebringende Rohstoffe verabschieden. Die Politik forciert Wärmepumpen als den nachhaltigen Lückenfüller – auch im Altbestand und in Mehrfamilienhäusern.

Von **Monika Offenberger**

Mit dem massiven Ausbau klimaschonender Heizsysteme will die Bundesregierung die Energiewende vorantreiben. Sechs Millionen Wärmepumpen bis 2030 lautet der Plan von Klimaschutzminister Robert Habeck, vorgestellt auf einem virtuellen Wärmepumpen-Gipfel im Juni 2022. Ein nicht minder ehrgeiziges Ziel hat der Grünen-Politiker für den Betrieb jeglicher Heizgeräte gesteckt: Bis 2024 sollen sie zu mindestens 65 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben werden. »Schon damit ist die Wärmepumpe gesetzt. Denn es gibt kaum andere Systeme, die diese Anforderung erfüllen können«, sagt Dr. Marek Miara, der diese Technologie seit 20 Jahren am Freiburger Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE vorantreibt.


Wärmepumpen nutzen Umweltwärme – also in der Luft, im Wasser oder im Boden gespeicherte thermische Energie –, um damit Gebäude zu heizen. Anders als bei Holz-, Öl- und Gasheizungen werden die Energieträger nicht verbrannt und erzeugen folglich keine klimaschädlichen Abgase. Vielmehr heben Wärmepumpen die Umweltwärme in einem Kreislaufprozess mit geeigneten Kühlmitteln und wechselnden Drücken auf ein höheres Temperaturniveau an und geben die so erzeugte Wärme direkt ans Heiz- und Brauchwasser ab. »Noch vor 15 Jahren musste man ständig erklären, dass es wirklich funktioniert, mit kalter Luft Häuser zu heizen. Später stellte man infrage, ob Wärmepumpen effizient genug sind. Heute sind allein in Deutschland mehr als 5000 verschiedene Geräte auf dem Markt«, sagt Miara.

Habecks Offensive folgt genau der Strategie, die zahlreiche wissenschaftliche Studien schon lange zur Erreichung der Klimaziele angemahnt hatten. Für die Heizungsbranche war der Sechs-Millionen-Plan zunächst ein Schock. Nach etlichen Workshops und einem weiteren Wärmepumpen-Gipfel stellt man sich nun der Herausforderung: Führende Hersteller wollen zusammen mehrere Milliarden Euro in neue Produktionskapazitäten investieren. »Solche Summen hat man früher nicht für möglich gehalten«, betont Miara und verweist auf die dynamische Entwicklung der jüngsten Zeit: Derzeit laufen in Deutschland rund 1,6 Millionen Anlagen, 2022 wurden gut 200 000 neue installiert, in diesem Jahr sollen weitere 350 000 produziert, verkauft und eingebaut werden. Wenn das Tempo anhält, erscheint auch die ab 2024 jährlich angestrebte Marke von 500 000 Stück rea-

listisch. Dennoch ist das Ziel hochgesteckt. Um es zu erreichen, braucht es keine weitere Effizienzsteigerung von Wärmepumpen. Vielmehr geht es darum: Wie bekommt man die Anlagen schnell in möglichst viele Häuser?

Dabei hilft ein Blick auf das bereits Erreichte. Das Fraunhofer ISE ist für seine umfangreichen Monitoring-Projekte bekannt, die mittlerweile mehr als 350 mit Wärmepumpen beheizte Gebäude umfassen. In einer 2020 abgeschlossenen Studie haben Miara und sein Team 56 Modelle unterschiedlicher Hersteller messtechnisch analysiert, darunter solche, die Außenluft, Raumluft oder Erdwärmesonden als Energiequelle nutzen. Damit wurden Ein- bis Vierfamilienhäuser beheizt, die alle mindestens 15 und überwiegend älter als 40 Jahre waren. Die Ergebnisse widerlegen weit verbreitete Vorurteile, betont Studienleiter Miara: »Erstens haben wir gezeigt, dass alle Systeme auch im Bestand gut arbeiten und ausreichend Wärme liefern. Das wird ja ständig angezweifelt. Zweitens funktionieren sie auch effizient in Häusern, die minimal oder überhaupt nicht saniert waren und daher einen sehr hohen Heizenergiebedarf haben. Die dritte Erkenntnis ist, dass Wärmepumpen mit gewöhnlichen Heizkörpern gut arbeiten können. Natürlich sind Fußboden- und andere Flächenheizungen in der Regel besser, weil sie mit niedrigeren Vorlauftemperaturen auskommen. Aber Heizkörper sind per se kein Ausschlusskriterium für eine Wärmepumpe.« Fazit: Auch bei Bestandsgebäuden ist durch eine richtig dimensionierte Wärmepumpe eine ausreichende Heizleistung garantiert.

Anderswo hat man ebenfalls gute Erfahrungen mit Wärmepumpen gemacht, auch und gerade in Mehrfamilienhäusern. Das zeigen Analysen in acht europäischen Ländern, die von der Internationalen Energiebehörde IEA beauftragt wurden. »Aber wir sehen auch, dass es zu viele unterschiedliche Lösungen gibt«, betont Miara, der das IEA-Projekt geleitet hat. »Überspitzt gesagt: Wenn jedes der vielen tausend am Markt angebotenen Modelle an einem anderen Ort in seinem Gehäuse Öffnungen zum Anschließen der Rohre hat, dann müssen sich die Installateure jedes Mal neu einarbeiten. Hier brauchen wir dringend mehr Standardisierung«, fordert der Fraunhofer-Forscher. »Und das gilt nicht nur für die Produkte, sondern vor allem für die Konzepte und Anlagenschemata.« Denn komplexer als die Wärmepumpen selbst ist ihre Kopplung mit der im Haus vorhandenen oder geplanten Infrastruktur für Wärmeverteilung, Wärmeübergabe ►



Die Heizung aufdrehen mit ökologisch gutem Gewissen? Mit einer Wärmepumpe ist das leichter möglich.

und Warmwasserbereitung. Vor allem in Bestandsgebäuden stellt die Installation die größte Herausforderung dar. Als langjähriges Mitglied der einschlägigen VDI-Normalisierungsausschüsse nimmt Miara Einfluss auf Standardisierungsvorgaben: »Aus den Ergebnissen unserer Studien versuchen wir, gute Vorschläge für Normen und Richtlinien zu generieren, um auch in Deutschland den Einbau von Wärmepumpen einfacher und einheitlicher zu gestalten«, so der Ingenieur. Auf Basis dieser Richtlinien konnten – wenn auch nicht verbindliche – Berechnungsmethoden, Installationsanleitungen und Schulungsprogramme entwickelt werden.

Einen wichtigen Beitrag leistet das Fraunhofer-Team

auch zur Verbesserung der Umweltbilanz von Wärmepumpen: durch den Einsatz klimaschonender Kältemittel. Herkömmliche Modelle arbeiten überwiegend mit synthetischen Kältemitteln der F-Gruppe, deren künftige Verwendung durch eine EU-Verordnung sehr stark eingeschränkt wird. Daher hat man am Fraunhofer ISE beizeiten über Alternativen nachgedacht. 2017 begann die Arbeit an einem Modell mit Propangas, dessen Treibhauspotenzial rund 500 Mal niedriger ist als das herkömmlicher Kältemittel. Der Clou daran: Der Kältekreis kommt mit nur 150 Gramm Propan aus. Diese äußerst geringe Füllmenge minimiert das Sicherheitsrisiko und erlaubt es, Wärmepumpen mit dem leicht entzündlichen Gas auch in Innenräumen zu betreiben. »Unser Prototyp sollte demonstrieren, dass das funktioniert. Inzwischen haben wir ihn im offenen Austausch mit neun europäischen Wärmepumpen-Herstellern weiterentwickelt«, erklärt Dr. Lena Schnabel, Leiterin der Abteilung Wärme- und Kältetechnik am ISE. »Jetzt haben wir drei gute Kältekreise, die mit einer Füllmenge um die 150 Gramm Propan mit unterschiedlichen Varianten und Komponenten-Konfigurationen Leistungen von acht bis zwölf Kilowatt erreichen. Damit lässt sich eine Etagenwohnung oder ein Einfamilienhaus heizen – mit Effizienzen, die den deutschen Förderkriterien genügen«, so die Ingenieurin.

In einem vom Wirtschaftsministerium geförderten Folgeprojekt will ihr Team, wieder in Kooperation mit führenden europäischen Wärmepumpen-Herstellern sowie mit Akteuren der Wohnungswirtschaft, die neuen Propan-Kältekreise für den Einbau in Bestandsbauten fit machen. Drei Fragestellungen stehen im Fokus: Wie lassen sich Gasbrennerthermen in Etagenwohnungen ersetzen? Wie gelingt der Austausch von

Öl- und Gasbrennern in den Heizungskellern von Ein- und Mehrfamilienhäusern? Und inwieweit ermöglicht es eine deutliche Kältemittelreduktion, leistungsfähige Luftwärmepumpen noch kompakter zu bauen, damit sie im Außenraum auch in dicht bebauten Städten vermehrt installiert werden können? Schnelle und zugleich langfristig tragfähige Lösungen zu finden sei das Gebot der Stunde, betont Schnabel: »Hier können wir die Industrie und die Gesellschaft insgesamt sehr gut mit unserer Expertise unterstützen.«

Während die Nachfrage nach Luftwärmepumpen enorm ansteigt, kommt der Einbau von Erdwärmepumpen nur zögerlich voran. Derzeit sind in Deutschland rund 400 000 Erdwärmepumpen installiert, jährlich kommen kaum mehr als 20 000 neue Anlagen dazu. »Die Hemmnisse für den Markterfolg liegen weniger im technischen Bereich als bei Förderrichtlinien, Genehmigungsverfahren, mangelnder Investitionsbereitschaft und Fachkräftemangel«, erklärt Rolf Bracke. Der Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG hat mit Unterstützung des Bundesverbandes Geothermie, des Bundesverbandes Wärmepumpe und der Erdwärme Gemeinschaft Bayern die regulatorischen und volkswirtschaftlichen Hemmnisse analysiert, die einem flächendeckenden Einsatz in Deutschland im Wege stehen.

Aus dieser Zusammenschau entstand eine Roadmap

mit Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Akteure: Sie soll dabei helfen, das brachliegende Potenzial von Erdwärmepumpen besser zu nutzen und die Energiewende zu beschleunigen. Die Vorschläge reichen von der flächendeckenden Erhebung geologischer Daten über steuerliche Anreize und die Vereinfachung von Genehmigungsverfahren bis zur Ausbildung von Fachkräften im Sanitär-, Heizungs- und Klima-Handwerk. Gefordert werden auch gezielte Informationskampagnen, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern. Denn noch immer schreckten die anfänglich höheren Investitionskosten Immobilieneigentümer ab und versperrten die Sicht auf die geringen langjährigen Betriebskosten, beklagt Bracke – und gibt sich zugleich optimistisch: »Die dringend überfällige Umgestaltung des Wärmemarktes kann durch gezielte Anpassung der Rahmenbedingungen und Förderkulissen mittelfristig erreicht werden. Denn die Vorteile von Wärmepumpen, insbesondere der oberflächennahen Geothermie, liegen auf der Hand.« ■

»Die dringend überfällige Umgestaltung des Wärmemarktes kann durch gezielte Anpassung der Rahmenbedingungen und Förderkulissen mittelfristig erreicht werden.«

Rolf Bracke,
Fraunhofer IEG

Staffellauf des Wissens

***New
Wissenschaft?***

und Warmwasserbereitung. Vor allem in Bestandsgebäuden stellt die Installation die größte Herausforderung dar. Als langjähriges Mitglied der einschlägigen VDI-Normalisierungsausschüsse nimmt Miara Einfluss auf Standardisierungsvorgaben: »Aus den Ergebnissen unserer Studien versuchen wir, gute Vorschläge für Normen und Richtlinien zu generieren, um auch in Deutschland den Einbau von Wärmepumpen einfacher und einheitlicher zu gestalten«, so der Ingenieur. Auf Basis dieser Richtlinien konnten – wenn auch nicht verbindliche – Berechnungsmethoden, Installationsanleitungen und Schulungsprogramme entwickelt werden.

Einen wichtigen Beitrag leistet das Fraunhofer-Team

auch zur Verbesserung der Umweltbilanz von Wärmepumpen: durch den Einsatz klimaschonender Kältemittel. Herkömmliche Modelle arbeiten überwiegend mit synthetischen Kältemitteln der F-Gruppe, deren künftige Verwendung durch eine EU-Verordnung sehr stark eingeschränkt wird. Daher hat man am Fraunhofer ISE beizeiten über Alternativen nachgedacht. 2017 begann die Arbeit an einem Modell mit Propangas, dessen Treibhauspotenzial rund 500 Mal niedriger ist als das herkömmlicher Kältemittel. Der Clou daran: Der Kältekreis kommt mit nur 150 Gramm Propan aus. Diese äußerst geringe Füllmenge minimiert das Sicherheitsrisiko und erlaubt es, Wärmepumpen mit dem leicht entzündlichen Gas auch in Innenräumen zu betreiben. »Unser Prototyp sollte demonstrieren, dass das funktioniert. Inzwischen haben wir ihn im offenen Austausch mit neun europäischen Wärmepumpen-Herstellern weiterentwickelt«, erklärt Dr. Lena Schnabel, Leiterin der Abteilung Wärme- und Kältetechnik am ISE. »Jetzt haben wir drei gute Kältekreise, die mit einer Füllmenge um die 150 Gramm Propan mit unterschiedlichen Varianten und Komponenten-Konfigurationen Leistungen von acht bis zwölf Kilowatt erreichen. Damit lässt sich eine Etagenwohnung oder ein Einfamilienhaus heizen – mit Effizienzen, die den deutschen Förderkriterien genügen«, so die Ingenieurin.

In einem vom Wirtschaftsministerium geförderten Folgeprojekt will ihr Team, wieder in Kooperation mit führenden europäischen Wärmepumpen-Herstellern sowie mit Akteuren der Wohnungswirtschaft, die neuen Propan-Kältekreise für den Einbau in Bestandsbauten fit machen. Drei Fragestellungen stehen im Fokus: Wie lassen sich Gasbrennerthermen in Etagenwohnungen ersetzen? Wie gelingt der Austausch von

Öl- und Gasbrennern in den Heizungskellern von Ein- und Mehrfamilienhäusern? Und inwieweit ermöglicht es eine deutliche Kältemittelreduktion, leistungsfähige Luftwärmepumpen noch kompakter zu bauen, damit sie im Außenraum auch in dicht bebauten Städten vermehrt installiert werden können? Schnelle und zugleich langfristig tragfähige Lösungen zu finden sei das Gebot der Stunde, betont Schnabel: »Hier können wir die Industrie und die Gesellschaft insgesamt sehr gut mit unserer Expertise unterstützen.«

Während die Nachfrage nach Luftwärmepumpen enorm ansteigt, kommt der Einbau von Erdwärmepumpen nur zögerlich voran. Derzeit sind in Deutschland rund 400 000 Erdwärmepumpen installiert, jährlich kommen kaum mehr als 20 000 neue Anlagen dazu. »Die Hemmnisse für den Markterfolg liegen weniger im technischen Bereich als bei Förderrichtlinien, Genehmigungsverfahren, mangelnder Investitionsbereitschaft und Fachkräftemangel«, erklärt Rolf Bracke. Der Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG hat mit Unterstützung des Bundesverbandes Geothermie, des Bundesverbandes Wärmepumpe und der Erdwärme Gemeinschaft Bayern die regulatorischen und volkswirtschaftlichen Hemmnisse analysiert, die einem flächendeckenden Einsatz in Deutschland im Wege stehen.

Aus dieser Zusammenschau entstand eine Roadmap

mit Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Akteure: Sie soll dabei helfen, das brachliegende Potenzial von Erdwärmepumpen besser zu nutzen und die Energiewende zu beschleunigen. Die Vorschläge reichen von der flächendeckenden Erhebung geologischer Daten über steuerliche Anreize und die Vereinfachung von Genehmigungsverfahren bis zur Ausbildung von Fachkräften im Sanitär-, Heizungs- und Klima-Handwerk. Gefordert werden auch gezielte Informationskampagnen, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern. Denn noch immer schreckten die anfänglich höheren Investitionskosten Immobilieneigentümer ab und versperrten die Sicht auf die geringen langjährigen Betriebskosten, beklagt Bracke – und gibt sich zugleich optimistisch: »Die dringend überfällige Umgestaltung des Wärmemarktes kann durch gezielte Anpassung der Rahmenbedingungen und Förderkulissen mittelfristig erreicht werden. Denn die Vorteile von Wärmepumpen, insbesondere der oberflächennahen Geothermie, liegen auf der Hand.« ■

»Die dringend überfällige Umgestaltung des Wärmemarktes kann durch gezielte Anpassung der Rahmenbedingungen und Förderkulissen mittelfristig erreicht werden.«

Rolf Bracke,
Fraunhofer IEG

Staffellauf des Wissens

***Herr Prof.
Wilhelm Bauer,
wie gestaltet sich
New Work in
der Wissenschaft?***

Staffellauf des Wissens, Folge 7

Herr Prof. Wilhelm Bauer, wie gestaltet sich New Work in der Wissenschaft?

Serie:

Staffellauf des Wissens

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

In dieser Ausgabe antwortet **Prof. Wilhelm Bauer**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, auf eine Frage von **Prof. Michael Waidner**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT.

Innovationsfähigkeit ist für ein rohstoffarmes Land wie Deutschland der wesentliche Faktor für zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg in einer lebenswerten Umwelt. Dafür kommt der Wissenschaftsarbeit eine Schlüsselfunktion zu. Diese ist von der Kompetenz, der Motivation, dem Einsatz und den Arbeitsbedingungen der dort Beschäftigten abhängig. Entsprechend müssen wir alles dafür tun, um einerseits die äußeren Bedingungen dieser Arbeit, geprägt von Gebäuden, Laboren und technischen Infrastrukturen, zu optimieren, und andererseits die sonstigen Rahmenbedingungen der Wissenschaftsarbeit, wie Orts- und Zeitsouveränität, Mitsprache- und Entwicklungsmöglichkeiten, Vernetzung und kreative Austauschmöglichkeiten genauso wie gesunde und sichere Arbeitskonzepte, modern und zielgruppengerecht zu gestalten. Diese Herausforderung hat die Fraunhofer-Gesellschaft mit allen anderen Unternehmen und Organisationen gemein.

Als leistungsstarker Forschungsorganisation bieten sich der Fraunhofer-Gesellschaft aber auch besondere Chancen bei der Gestaltung der Wissenschaftsarbeit und somit im Wettbewerb um Talente: Hybride Arbeitsmodelle können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die besten Talente zu gewinnen und



Prof. Wilhelm Bauer leitet das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart.

wirtschaftsbezogenen Bedarfen orientierten Forschungsthemen auszeichnen und hierdurch Talente faszinieren und binden. Ein solches Modell ist auch erforderlich, um eine ausreichende »kritische Masse« an Forschungskapazitäten zu bilden, die auch in Konkurrenz zu den teils riesigen Forschungseinheiten in großen asiatischen und amerikanischen Digitalunternehmen bestehen kann. Ergänzend gilt es aber auch, attraktive »Hardware-Hubs« zu etablieren, die in Nähe zu und innerhalb von wirtschaftsräumlichen Clustern wirken. Solche Hubs und deren Organisation müssen zudem niederschwellige Angebote für Mobilität, Zusammenarbeit und Wohnen bieten. Hier denke ich insbesondere an Co-Living-Angebote, um die projekthafte und phasenweise physische Zusammenarbeit zwischen den Menschen zu fördern. Zu all diesen Fragestellungen forschen wir am Fraunhofer IAO.

Anforderungen an örtliche und zeitliche Souveränität

Wissenschaftsarbeit lebt vom engen Austausch genauso wie von intensiver Denk- und Konzeptionsarbeit. Sie findet in Projektzyklen, eng getakteten Arbeitsspitzen, aber auch in längeren Phasen der konzeptionellen und experimentellen Arbeit statt. Das bedingt zwangsläufig Anforderungen an die örtliche und zeitliche Souveränität der Mitarbeitenden,

wobei gleichzeitig arbeitszeitgesetzliche und arbeitsmedizinische Rahmenbedingungen beachtet werden müssen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben überdies spezifische Erwartungen an Führungsarbeit, die in einer guten Mischung aus fachlicher Betreuung, persönlicher Förderung und gutem Teammanagement bestehen muss. Zugleich sind wissenschaftlich Tätige häufig in ihrem Spezialgebiet so versiert, dass sie als anerkannte Koryphäen große fachliche Autorität und damit auch eigene Ideen sowie Gestaltungswillen einbringen können und wollen. Die daraus resultierenden Anforderungen sind mit dem Sammelbegriff »New Work« recht gut beschrieben. Die Fraunhofer-Gesellschaft setzt diese Arbeitsprinzipien seit Jahren um und ist dabei sehr erfolgreich. Wir stoßen hier aber auch an Grenzen des Arbeitsrechts und der tarifvertraglichen Vorgaben, die wir daher gerne etwas ausweiten würden. Gerade dafür ist derzeit ein »Experimentierraum Wissenschaftsarbeit« in Kooperation mit anderen Großforschungsorganisationen in Vorbereitung. Unsere Vision ist eine hochflexible, produktive und kreative Arbeitsumgebung, die alle modernen Möglichkeiten der Informationstechnologie nutzt, unsere Mitarbeitenden intensiv vernetzt und eine möglichst konzentrierte, kundenorientierte und selbstbestimmte Arbeit ermöglicht. ■

Unsere Vision ist eine hochflexible, produktive und kreative Arbeitsumgebung, die alle **modernen Möglichkeiten** der Informationstechnologie nutzt.

In der nächsten Ausgabe:

Wann werden **autonome Fahrzeuge** auf deutschen Straßen **zum Alltag** gehören?



Titel

Das Penicillin von heute

Nur neun Prozent aller deutschen Kliniken nutzen bisher Künstliche Intelligenz. Dabei könnte sie die Medizin revolutionieren und das Personal erheblich entlasten.

Von Dr. Sonja Endres und Beate Strobel,
Fotografie: Valéry Kloubert

»Die Gesundheitsbranche ist so unendlich komplex, ähnlich wie die Mathematik. Daher hat sie mich direkt fasziniert«, schwärmt Dario Antweiler. Der Mathematiker und Informatiker leitet das Geschäftsfeld Healthcare Analytics am Fraunhofer IAIS.

Jede Minute zählt bei der Versorgung Schwerverletzter. Behandelt werden sie im Herz der Notaufnahme, dem sogenannten Schockraum: ausgestattet mit modernsten Geräten, Beatmungsmaschinen und mächtigen Ganzkörper-Computertomographen. Das Schockraum-Team muss sich schnell ein Bild machen können über mögliche Frakturen, Hirntraumata oder Rückenmarksverletzungen. Sturz aus mehr als drei Meter Höhe? Zweirad-Kollision? Ist der Patient Diabetiker? Jedes Detail ist wichtig, um entscheiden zu können, welche Fachkolleginnen und -kollegen hinzugezogen werden müssen, welche Behandlungsmaßnahmen notwendig sind und was in welcher Reihenfolge erfolgen soll. Das Problem: Bisher werden diese mitunter überlebenswichtigen Hinweise nur mündlich vom Rettungsdienst mitgeteilt. In strukturierter Form festgehalten werden sie kaum. Das Risiko ist daher groß, dass in der Eile Informationen verloren gehen.

Smarte Hilfe bei der Entscheidungsfindung

Das wollen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS zusammen mit Partnern im Projekt TraumA-Interfaces ändern. Ein Spracherkennungssystem, das auf Künstlicher Intelligenz (KI) basiert, soll in Zukunft die Kommunikation bei der Übergabe der Schwerverletzten automatisch erfassen, verschriftlichen, analysieren und strukturieren. »Unsere KI trifft aber keine Entscheidungen«, betont Dario Antweiler, Leiter des Geschäftsfeldes Healthcare Analytics am Fraunhofer IAIS. Ziel sei es lediglich, das Schockraum-Team bei der Entscheidungsfindung so effektiv wie möglich zu unterstützen. Auch für die spätere Dokumentation des Falls ist die strukturierte Erfassung aller nötigen Informationen und des Behandlungsverlaufs wertvoll. »Hierfür wird bisher viel ärztliche Zeit verschwendet, die dadurch nicht mehr für die Patientinnen und Patienten zur Verfügung steht«, so Antweiler.

Zusammen mit seinem Team war Antweiler tagelang in verschiedenen klinischen Abteilungen unterwegs, hat Arbeits- und Verwaltungsprozesse beobachtet, Ärztinnen

und Ärzte interviewt, mit Krankenhaus-Expertinnen und -Experten diskutiert. »Wir haben uns vor allem angeschaut: Welche IT-Systeme werden genutzt? Wie wird kommuniziert? Wo entstehen Daten und wie werden sie verwendet?« Anschließend entwickelten die Data Scientists über 40 Anwendungsfälle, wie mithilfe von KI die Arbeitsbelastung für das medizinische Klinikpersonal verringert und die Behandlungsqualität verbessert werden könnten. »Die Patientinnen und Patienten werden immer älter und immer mehr, der Personalmangel wird gravierender. In Zukunft wird es nicht mehr ohne KI gehen«, ist Antweiler überzeugt.

54 Prozent
der Medizinerinnen
und Mediziner
nutzen KI in
ihrer Klinik nicht,
würden dies aber
befürworten.



Mit KI wertvolle Zeit sparen

Das Potenzial von Künstlicher Intelligenz im Krankenhaus ist enorm: KI-basierte Systeme, die aus Hunderttausenden von früheren Fällen statistische Zusammenhänge ableiten, könnten beispielsweise mögliche Komplikationen und Risiken frühzeitig prognostizieren. In Kombination mit der Erfahrung der Medizinerinnen und Mediziner ließen sich Behandlungsstrategien entsprechend anpassen und Überlebenschancen verbessern. Auch kann KI beitragen, das Risiko einer OP besser abzuschätzen. Per »Literatur-Mining« könn-

ten sich Ärztinnen und Ärzte schnell aktuelle Informationen über die besten Behandlungsoptionen verschaffen – vor allem in der komplexen, fächerübergreifenden und zeitkritischen Schwerverletztenversorgung ein Vorteil. Dabei wertet die KI eine große Anzahl an medizinischer Fachliteratur aus, die automatisch regelmäßig aktualisiert wird. Das geht nicht nur wesentlich schneller als die herkömmliche Recherche in Online-Datenbanken, sondern ist auch treffsicherer: KI kann semantisch suchen, das heißt nicht nur nach vorgegebenen Begriffen, sondern auch nach verwandten Inhalten. Zudem ist sie in der Lage, Ergebnisse zu filtern und einzustufen. So würden auf einer Intensivstation beispielsweise andere Artikel angezeigt als auf einer Normalstation. »KI ist mittlerweile sehr gut darin, Informationen aus Texten zu extrahieren. Im Gesundheitswesen gibt es da einen riesigen Bedarf. Fast alle Informationen liegen in Textform vor, seien es Befunde, Arztbriefe oder Dokumentationen.

Es frisst nicht nur unglaublich viel Zeit, diese Texte zu erstellen, sondern auch, sie zu lesen und auszuwerten«, so Antweiler. Klinikärztinnen und -ärzten fehlen jedoch die Kapazitäten, um beispielsweise eine dicke Patientenakte aus 20 Jahren Krankengeschichte zu studieren. Möglicherweise bedeutsame Informationen bleiben da schnell unbeachtet.

Arztbriefe endlich schnell erstellen

Im Projekt SmartHospital.NRW arbeiten Antweiler und sein Team jetzt daran, per KI automatisch die wichtigsten Diagnosen, Vorbehandlungen, Medikationen und Allergien zu extrahieren und in strukturierter Form übersichtlich für das medizinische Personal darzustellen. Ab 2024 soll das KI-basierte »Text-Mining« beim Projektpartner, der Uniklinik Essen, zum Einsatz kommen, die deutschlandweit als Vorreiter in der Digitalisierung gilt. Auch das KI-basierte Spracherkennungssystem wird sich dort bald bewähren dürfen, ebenso wie der Arztbrief-Generator, eine weitere Innovation aus dem Fraunhofer IAIS. Ärztinnen und Ärzte benötigen bisher durchschnittlich drei Stunden, um das Dokument zu erstellen, das jeder Patient bei seiner Entlassung aus der Klinik ausgehändigt bekommt und das als zentrales

Kommunikationsmittel zwischen Praxen und Kliniken fungiert. Es enthält unter anderem die Anamnese und die Verdachtsdiagnose, mit der der Patient stationär aufgenommen wurde, Medikamente, die verabreicht, und Maßnahmen, die in der Klinik durchgeführt wurden. Bisher muss sich das ärztliche Personal diese Informationen mühsam aus verschiedenen IT-Systemen zusammensuchen. Eine KI soll sie in Zukunft automatisch extrahieren und in den Arztbrief einfügen. Nur die Epikrise, also die Zusammenfassung des gesamten Aufenthalts, Fazit und Behandlungsempfehlung, muss noch im Volltext verfasst werden.

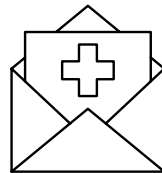
Prof. Jochen Werner, ärztlicher Direktor und Vorstandsvorsitzende des Uniklinikums Essen, will sein Haus zum ersten »Smart Hospital« Deutschlands machen – und

ist hier, unterstützt vom Fraunhofer IAIS, bereits auf einem guten Weg. »Daten sind das heutige Penicillin«, ist Werner überzeugt. Auf seinem Youtube-Kanal wirbt er für die Digitalisierung in der Medizin und will dem medizinischen Personal ebenso wie den Behandelten Ängste nehmen.

Bereits vor zehn Jahren hat das Uniklinikum Essen damit begonnen, sein Krankenhausinformationssystem, das bisher vor allem zur Abrechnung medizinischer Leistungen diente, zum Datenmanagementsystem umzubauen.

Heute werden alle Details, die über eine Patientin oder einen Patienten verfügbar sind, und alle Daten, die während des Klinikaufenthalts entstehen – beispielsweise Blutwerte, Körpertemperatur, Medikation –, in der »Smart Hospital Information Platform« (SHIP) gespeichert. Alle Apparate sind mit der Plattform verbunden. Wird etwa der Blutdruck gemessen, hinterlegt das Gerät den Wert automatisch im System. Voraussetzung hierfür ist ein offener Standard, also Software, die Schnittstellen zu SHIP ermöglicht. »Mittlerweile etabliert sich im Gesundheitswesen international ein offener Standard, der sich FHIR nennt. Gearbeitet wird hier nicht mit Textfeldern, sondern mit fixen Codes, die dann weltweit ausgelesen werden können und zum Beispiel »Blutdruck abgenommen« bedeuten«, erklärt Antweiler.

71 Prozent der Ärztinnen und Ärzte sind davon überzeugt, dass strenge Datenschutzvorgaben den medizinischen Fortschritt erschweren.



Bestmögliche Suche nach den richtigen Personen für klinische Studien

Doch bisher liegen Patientendaten in Deutschland meistens weder in strukturierter Form vor noch in interoperablen IT-Systemen, die sich miteinander verbinden lassen – ein Problem unter anderem für klinische Studien zu verschiedenen Erkrankungen. Bereits die Suche nach passenden Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern ist immens aufwendig. Kliniken und Praxen überprüfen ihren Patientenstamm manuell und gleichen ihn mit dem Anforderungskatalog der Studie ab. »Am Anfang wird lediglich geschätzt, wie viele Patienten infrage kommen. Nicht selten liegen diese Schätzungen daneben. Wird die erforderliche Studiengröße unterschritten, scheitert ►



»Aus den Beispieldaten, mit denen wir unser KI-Modell füttern, lernt es selbstständig und kann auch Regeln ableiten. Je mehr Daten, desto besser das Ergebnis.«

Sabine Kugler,
Data Scientist am Fraunhofer IAIS

Fraunhofer

die Studie im schlimmsten Fall. Das kann mehrere Millionen Euro kosten«, führt Sabine Kugler aus, Data Scientist am Fraunhofer IAIS.

Im Projekt PARIS arbeitet sie daran, die für die klinischen Studien notwendigen Informationen per KI aus Fließtexten zu ziehen und mit den Anforderungsprofilen abzugleichen. In einem ersten Anwendungsfall verwendete sie als Datengrundlage Akten von Psoriasis-Arthritis-Patienten. Rund ein Drittel der Menschen, die an Psoriasis (Schuppenflechte) leiden, entwickeln später diese spezielle Form, die mit der Entzündung von Strukturen des Bewegungsapparates einhergeht. Gemeinsam mit Rheumatologinnen und Rheumatologen des Universitätsklinikums Frankfurt und Forschenden am Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP markierte sie Informationen, die als Auswahlkriterien für klinische Studien von Bedeutung sind, beispielsweise der Zeitpunkt der Diagnose, Schmerzintensität, Dauer der Schmerzen oder Morgensteifigkeit. »Auf dieser Grundlage trainieren wir unser KI-Modell. Aus den Beispieldaten, mit denen wir es füttern, lernt es selbstständig und kann auch Regeln ableiten. Je mehr Daten, desto besser das Ergebnis«, erklärt Kugler. Die extrahierten Informationen sollen später automatisch strukturiert und übersichtlich in einer Datenbank gespeichert werden. ▶

Warum die Digitalisierung im Gesundheitswesen noch nicht weiter fortgeschritten ist? Wegen der Komplexität des Gesundheitssystems, glauben **91 Prozent** der befragten Ärztinnen und Ärzte.



Die Effizienz klinischer Studien mittels KI verbessern: Das will Data Scientist Sabine Kugler vom Fraunhofer IAIS.

Über eine Abfrage lassen sich Patientinnen und Patienten gezielt nach bestimmten Kriterien filtern. »Unser KI-Modell kann leicht an weitere Rheumaerkrankungen angepasst werden. Wir brauchen dafür weniger Daten, weil das Modell wichtige Charakteristika von Rheuma schon gelernt hat. Für andere Krankheitsbilder wie Krebs oder Diabetes müsste es aber komplett neu trainiert werden«, so Kugler.

67 Prozent
der Ärztinnen und
Ärzte in Deutschland
fordern mehr
Tempo bei der
Digitalisierung des
Gesundheitswesens.



Das komplexe Zusammenspiel möglicher Krankheitsfaktoren entwirren

Doch die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher gehen weiter: Sie wollen große Datenmengen auch zur Verbesserung der Diagnoseerstellung und Therapie von Psoriasis-Arthritis (PsA) nutzen. Zusammen mit 26 Partnern aus Europa, den USA und Kanada arbeiten sie seit Juli 2021 in dem Projekt HIPPOCRATES daran, unter anderem mittels Datenanalyse das komplizierte Zusammenspiel einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren bei der Entstehung von PsA besser zu verstehen. Denn gerade die uneinheitliche Symptomatik und die höchst unterschiedlichen Krankheitsverläufe erschweren das Erkennen von PsA und die frühzeitige Therapieeinleitung. Oft liegt eine Entzündung der Gelenkinnenhaut an Händen und Füßen vor, es können aber auch die Sehnen, die Augen oder der Darm betroffen sein. »Durch diese großen Variationen im klinischen Bild wird die Krankheit meist zu spät erkannt, was wiederum die Therapiechancen deutlich verschlechtert. Wir brauchen deshalb diagnostische ►



»Wir brauchen diagnostische Tools, die in der Praxis eine verlässliche Frühdiagnose ermöglichen.«

Dr. Michaela Köhm,
Fraunhofer ITMP

Dank großer Datensätze dem einzelnen Menschen besser helfen können: Darauf hofft Rheumatologin Dr. Michaela Köhm, Abteilung klinische Forschung am Frankfurter Fraunhofer ITMP.

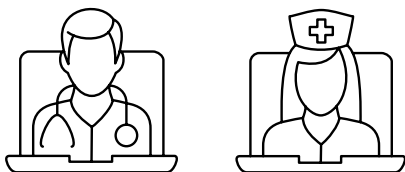


»Wir suchen nach
Methoden des
Maschinellen
Lernens, die auch
mit fehlenden
Werten gut
umgehen können.«

Sina Mackay, Data Scientist
am Fraunhofer IAIS

IT-Kraftakt für eine bessere Medizin: Data Scientist Sina Mackay vom Fraunhofer IAIS fahndet in Tausenden Datensätzen nach passenden Algorithmen zur Frühdiagnose von PsA.

74 Prozent
der Ärztinnen und
Ärzte fordern
eine verbesserte
Erschließung
versorgungsnaher
Daten für mehr
Evidenz und inno-
vative Therapien.
61 Prozent
sehen darin sogar
eine ethische
Verpflichtung.



Quelle: Alle hier verwendeten Prozentangaben zur Nutzung von KI in der Medizin entstammen der Studie »Digitalisierung in Praxis und Klinik« des Digitalverbandes Bitkom und des Hartmannbundes (Oktober 2022). Befragt wurden 535 Ärztinnen und Ärzte aller Fachrichtungen in Kliniken und Praxen.

Piktogramme: AlonzoDesign/istockphoto

Tools, die in der Praxis eine verlässliche Frühdiagnose ermöglichen«, erklärt Rheumatologin Dr. Michaela Köhm, die am Frankfurter Fraunhofer ITMP in der Abteilung Klinische Forschung eine wissenschaftliche Gruppe leitet, die eng mit dem Uniklinikum verzahnt ist.

Neidvoller Blick nach Skandinavien

HIPPOCRATES führt die Datensätze und Kohorten der größten europäischen PsA-Studien zusammen, um mittels KI nach belastbaren Mustern zwischen klinischen, bildgebenden und molekularen Patientenmerkmalen zu fahnden. So soll ein passender Kriterien-Katalog entwickelt werden, mit dessen Hilfe die Krankheit und ihr Verlauf besser prognostiziert werden können. »Im klinischen Bereich schätzt man sich ja bereits glücklich bei einem Datensatz von 1000 Patienten«, sagt Sina Mackay, Data Scientist am Fraunhofer IAIS. »Bei HIPPOCRATES liegt uns aber ein Vielfaches davon vor. Diese jetzt erst einmal zu harmonisieren, ist ein ziemlicher Kraftakt, der sich aber schnell auszahlen wird.« Nicht nur die Einheitlichkeit, sondern auch die Vollständigkeit der Datensätze wird vermutlich zu wünschen übrig lassen. »Wir suchen deshalb nach Methoden des Maschinellen Lernens, die auch mit fehlenden Werten gut umgehen können«, erklärt Sina Mackay.

Mit leichtem Neid blicken Mackay, Köhm, Kugler und Antweiler nach Skandinavien, wo die Forschung regelmäßig auf sehr viel größere Mengen an Patientendaten zurückgreifen kann, um diese für Projekte wie HIPPOCRATES zu verwenden. Finnland beispielsweise hat alle seit 1960 gesammelten Gesundheitsdaten digitalisiert und gewährt der Forschung auf diese anonymisierten medizinischen Daten Zugriff. Auch in Estland werden Gesundheitsdaten an zentraler Stelle gesammelt, anonymisiert und auf Antrag Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zur Verfügung gestellt. »Wir müssen in Deutschland dringend Wege finden, innerhalb des rechtlichen Rahmens medizinische Forschung mit großen Mengen an Gesundheitsdaten zu ermöglichen«, fordert Köhm. »Andernfalls vergeben wir die Chance, Muster zu erkennen, die beispielsweise Rückschlüsse auf das individuelle Risiko für Krankheiten, Komorbiditäten oder Nebenwirkungen von Medikamenten zulassen und verlieren in der Forschung international den Anschluss.« Erst die Vielzahl ermöglicht es, das Einzelne zu verstehen. ■

Prof. Frank Behrens, stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer ITMP, stellt im Fraunhofer-Podcast neue Wege für Patientinnen und Patienten, Medizin und Forschung vor: **das Konzept der 4D-Klinik.**



Schöne neue Klinikwelt

Wie könnte die Digitalisierung der Medizin das Patientenerlebnis verändern? Ein – unverbindlicher – Blick in die Zukunft.

Von Beate Strobel und Dr. Sonja Endres

Wenn Dario Antweiler, Leiter des Geschäftsfelds Healthcare Analytics am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme

IAIS, laut vom digital optimierten Krankenhaus träumt, hat er ziemlich konkrete Vorstellungen davon, was die Patientinnen und Patienten in der Zukunft erwarten könnten. Die Anmeldung in der Klinik etwa erfolgt dann nicht mehr vor Ort und mit Kugelschreiber auf Papier, sondern über digitale Patientenportale, auf die auch alle benötigten Dokumente und Daten aus der elektronischen Patientenakte hochgeladen werden können. Während des Klinikaufenthalts wird diese Akte automatisch ergänzt durch sämtliche Untersuchungsergebnisse, Befunde und transkribierte Arztgespräche.

Ein entscheidender Schritt zum oder zur mündigen Kranken: »Ich habe über das Patientenportal jederzeit Einblick in alles, was passiert«, erklärt Antweiler. »Es wird Apps oder auch Chatbots geben, die mir Befunde und mögliche Therapieschritte genau erklären. Denn vieles von dem, was in Kliniken passiert, ist ja für Betroffene unverständlich.« Im Patientenzimmer, führt er weiter aus, »muss ich keine Pflegekraft rufen, um mir einen Kamillentee zu bestellen, sondern kann das bequem per App erledigen.« Zum Ende des Aufenthalts erhält jeder Klinikgast über das Portal nicht nur unverzüglich den digitalen Entlassungsbrief, sondern auch Nachsorgeempfehlungen, Reha-Optionen, Therapie- und Heilmittel-Verschreibungen sowie Tipps zur Ernährung und Bewegung.

Noch ist Antweilers Vision weit entfernt von der Krankenhausrealität. »Wir haben gerade erst die Legosteine auf dem Boden ausgeschüttet«, beschreibt er

die Lage. »Jetzt müssen wir sie aber noch zusammenbauen.« Und jeder, der Erfahrung mit Lego-Bausätzen hat, weiß, was für eine Herkulesaufgabe das sein kann.

Das futuristische Patientenzimmer

Ein Anfang ist aber schon mal gemacht: Im Kooperationsprojekt KARMIN forschen das Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie und Gesundheitsbau IKE der TU Braunschweig sowie das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST seit 2016 am »Patientenzimmer der Zukunft«. Welche Rolle spielen bauliche Details, Ausstattung und verwendete Materialien sowie Oberflächen für sämtliche Arbeits-, Hygiene- und damit auch Heilungsprozesse?

Seit 2022 steht das Patientenzimmer der Zukunft als Demonstrator im Städtischen Klinikum Braunschweig für Forschungszwecke zur Verfügung. Über ein Terminal am Bett erhält die Patientin oder der Patient nicht nur das übliche Entertainment-Programm, sondern auch Informationen zum Aufenthalt und zum Behandlungsplan. Um Kreuzkontaminationen und Kontaktinfektionen zu vermeiden, befinden sich die Betten hier beispielsweise nicht nebeneinander, sondern einander gegenüber; jede erkrankte Person hat ein eigenes Bad auf ihrer Seite des Zimmers. Entlang des Routineweges des Pflegepersonals sind sechs Desinfektionsmittelspender verteilt, die mit einem Smiley die Benutzung belohnen. Das Licht im Zimmer lässt sich individuell anpassen – von sanfter Ruhebeleuchtung bis hin zu hellem Untersuchungslicht. Denn auch in einer digital optimierten Klinik soll das ganz reale Wohlbefinden der Kranken und ihre Genesung selbstverständlich im Zentrum stehen. ■



Foto: De Zwaarte Hond/Michel Kievits

So könnte die Klinik der Zukunft aussehen: Das Zuyderland Medisch Centrum ist das erste papierlose Krankenhaus der Niederlande mit ausschließlich Einbettzimmern.

Interview

»Ökosystem für Künstliche Intelligenz«

Judith Gerlach ist Bayerns jüngste Ministerin – und Deutschlands erste reine Digitalministerin. Zum Jahresbeginn hat die 37-Jährige den Vorsitz beim D16-Treffen der für Digitalisierung zuständigen Minister, Senatoren und Staatssekretäre der Länder übernommen. Ihr Ziel: »Deutschland muss digital spitze werden.«

Interview: Josef Oskar Seitz

Am Anfang eines Weges:
Judith Gerlach, 37,
im Bayerischen Landtag

_____ **Amazon, Google, Meta, Microsoft: Alle bauen Stellen ab. »Come to Bavaria« rufen Sie gerade sehr laut und werben um Digital-Fachleute. Frau Gerlach, haben Sie für die Möchtegern-Bayern zum Laptop schon Lederhose und Dirndl vorbereitet?**

Wir wollen die klügsten IT-Spezialisten nach Bayern holen, wofür der Freistaat beste Voraussetzungen bietet. Es gibt hier zahlreiche attraktive Job-Möglichkeiten dank eines hochinnovativen Forschungsumfelds und vieler interessanter Wirtschaftspartner – vom Start-up über Mittelständler bis zum DAX-Konzern. Und on top: ein traumhaftes Umfeld mit großem Freizeitwert. Wer nach einer spannenden Aufgabe mit hohem Impact sucht und auf Sicherheit Wert legt, ist im öffentlichen Dienst genau richtig. Der Freistaat selbst bietet als Arbeitgeber Kündigungsschutz, Überstundenausgleich und die höchst attraktive Mission, die digitale Zukunft des Freistaats für 13 Millionen Menschen zu gestalten.

_____ **Da sind wir ja schon in der Arbeitswelt. Sie selbst hatten »den besten Job der Welt«. Das war leider schon 2013, da sind Sie als jüngste Parlamentarierin in den Bayerischen Landtag eingezogen. Zehn Jahre später: Ist Deutschlands erste spezialisierte Digitalministerin ein Abstieg zum zweitbesten Job?**

Ich komme aus der Sozialpolitik und war in meiner ersten Legislaturperiode im Sozialausschuss. Das hat mich geprägt, weil es so unmittelbar ist. Ich will Politik nah am Menschen für die Menschen machen. Diese Linie verfolge ich mit großer Leidenschaft bis heute als Digitalministerin. Ich möchte Digitalpolitik machen, die den Menschen in diesem Land eine unmittelbare Verbesserung zum Status quo bringt. Und ja, es ist immer noch der beste Job der Welt, wenn auch mit anderen Themen.

_____ **Wir erleben den Fluch des Superlativs. Riskieren wir es noch einmal: Digital betrachtet – wo ist Bayern am besten?**

Wir haben in Bayern die modernsten Behörden Deutschlands. Das zeigt ganz offiziell das Digital-Ranking des Bundesinnenministeriums. Nirgendwo können die Menschen so viele Behörden-Services digital aufrufen wie in Bayern. Und nirgendwo wird so viel in Zukunftstechnologien investiert wie bei uns. Wir unterstützen allein den Forschungsbereich im Rahmen unserer Hightech Agenda mit insgesamt 3,5 Milliarden Euro und bauen allein im Bereich KI 100 neue Lehrstühle auf. Damit setzen wir wichtige Impulse, um etwa ein europaweit einzigartiges Ökosystem für Künstliche Intelligenz in Bayern zu etablieren.

»Wir brauchen eine klare Strategie und mehr Investitionen in die Digitalisierung.«

Judith Gerlach

_____ **Mit dem Munich Quantum Valley hat Bayern seine eigene Quantencomputing-Initiative geschaffen. Was versprechen Sie sich davon?**

Damit hat Bayern ein europaweit einmaliges Netzwerk aus Politik, Wirtschaft und renommierten Wissenschaftspartnern wie der TU München, der Fraunhofer- und der Max-Planck-Gesellschaft geschaffen. Wir müssen bei dieser Schlüsseltechnologie ganz vorne dabeibleiben. Hier werden gerade technisch die Voraussetzungen geschaffen für ganz viele Bereiche, vom Finanzsektor über Sicherheits- und Verteidigungslösungen bis zum Energiemanagement. Deshalb ist es so wichtig, dass wir den Fortschritt der Quantentechnologie selbst mitgestalten.

_____ **Das ist die Zukunft. Die Gegenwart sieht ganz anders aus. In einem EU-Ranking von 2021 steht Deutschland in Sachen Digitalisierung auf dem vorletzten Platz. Was können Sie besser als Volker Wissing, der Bundesminister für Digitales und Verkehr?**

Ich kann in Berlin niemanden erkennen, der sich um Digitales kümmert. Herr Wissing ist zuständig für Mobilfunk- und Breitbandausbau, Frau Faeser macht Digitale Verwaltung, und bei Herrn Habeck liegen Innovation und Start-ups. Es herrscht ein Wirrwarr von Kompetenzen, und die Zuständigkeiten sind völlig zerfasert. Kein Wunder, dass da nichts vorangeht. Anders bei uns im bayerischen Digitalministerium. Wir treiben über alle Ressorts hinweg die Digitalisierung für die Staatsregierung voran, bei uns laufen die Fäden der Digitalpolitik zusammen. Deshalb hätte ich mir auch auf Bundesebene ein eigenständiges Digitalministerium gewünscht. Wir müssen bei der Digitalisierung deutlich an Geschwindigkeit gewinnen! Wir stehen im harten internationalen Wettbewerb mit China und den USA. Wir brauchen in Deutschland eine klare Strategie und mehr Investitionen in die Digitalisierung.

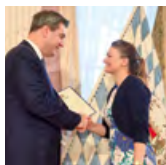
_____ **Im D16-Digitalministertreffen haben Sie gerade den Vorsitz bis zum Sommer übernommen. Wie bringen Sie die Kollegen auf Trab?**

Bei D16 kämpfen wir alle mit großer Energie für ein gemeinsames Ziel: Deutschland muss digital ►



1987: »Mädsche, mach dich net verrückt!«

Schon Großvater Paul war MdB für die CSU. Ein politischer Tipp? Enkelin Judith: »Mädsche, mach dich net verrückt und kämpf mit Herz und Verstand!«



2018: Erste Digitalministerin Deutschlands

Bayerns Ministerpräsident Markus Söder überreicht Judith Gerlach die Ernennungsurkunde.



2019: Große Töne in Bayreuth

Judith Gerlach und ihr Mann Tobias Nitsch vor dem Richard-Wagner-Genuss bei den Bayreuther Festspielen.



2019: Ein Aufstieg, (fast) unpolitisch

An einer Kletterwand beweist Judith Gerlach sportliches Talent. Ihr Kommentar auf Instagram: »Wir wollen mit der digitalen Welt hoch hinaus!«

spitze werden. Ein moderner Staat ist ein serviceorientierter Staat. Wir wollen dafür sorgen, dass die Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen und Organisationen über zukunftsfähige Angebote verfügen und diese sicher nutzen können.

Vor einem Jahr im Sommer hat es Bayern zu Deutschlands erstem »Digital-Gesetz« gebracht. Hat es sich gelohnt?

Mit dem Digitalgesetz haben wir deutschlandweit die erste und im europäischen Vergleich eine besonders fortschrittliche Rechtsgrundlage gelegt. Es schafft erstmals juristische Rahmenbedingungen, damit alle Menschen von den Vorteilen der Digitalisierung profitieren. Es ist die Grundlage für den modernen Digitalstaat.

Weil wir schon bei Gesetzen sind: Deutschlandweit wirkt die Bilanz dürrftig. Nach dem Online-Zugangsgesetz sollten bis Ende 2022 alle Verwaltungsleistungen digital für Bürgerinnen und Bürger verfügbar sein. Der Nationale Normenkontrollrat, das unabhängige Beratergremium der Bundesregierung, zählt jetzt durch, dass von 575 Behördenleistungen erst 33 digitalisiert sind. Selbst das Bundesinnenministerium kommt nur auf gut 100. Warum ist Digitalisierung in Amtsstuben eigentlich so schwer?

Wir für uns in Bayern haben im Rahmen des Möglichen unsere Hausaufgaben gemacht und über 98 Prozent der staatlichen Leistungen abgeschlossen. Wie schon erwähnt, liegen wir im Bund inzwischen an der Spitze. Aber insgesamt sind wir noch lange nicht fertig. Viele Leistungen für die Bürgerinnen und Bürger haben ja nicht die Länder oder der Bund, sondern vor allem die Kommunen in eigener Verantwortung zu erbringen. Hier haben wir erfolgreich Anreize gesetzt: Immer mehr Gemeinden nehmen an unserem Programm »Digitales Rathaus Bayern« teil, mit dem wir finanziell unterstützen. Wir stellen als Freistaat zentrale Online-Dienste über den sogenannten BayernStore zur Verfügung. Diese Online-Dienste können die Kommunen einfach kostenlos abonnieren und den Menschen zur Verfügung stellen. Und wir motivieren unsere Kommunen noch durch die Auszeichnung zum »Digitalen Amt«.

Sie gehen es ja auch von der anderen Seite her an. In 30 bayerischen Städten und Gemeinden sollen Digital-Beratungsstellen eingerichtet werden. Die Bewerbungsfrist endet Mitte März. Wie groß ist das Interesse?

Wir bekommen sehr viele Rückmeldungen! Das zeigt mir: Die Beratungstheken kommen an und schaffen einen echten Mehrwert, insbesondere für die noch nicht so digital affinen Menschen. Als Digitalministerin ist es mein Ziel, dass alle Menschen vom digitalen Fortschritt profitieren – unabhängig von Alter, Geschlecht, Einkommen oder Herkunft.

Wir sehen Sie immer wieder als Vorleserin in Schulen. Ist das für eine Digitalministerin nicht irgendwie gestrig?

Nein, ganz und gar nicht! Lesen und Textverständnis sind Grundvoraussetzungen für einen souveränen Umgang mit der digitalen Welt. Gerade das aktuelle Beispiel der KI-Software ChatGPT zeigt, dass wir noch viel kritischer auf digital vermittelte Inhalte schauen sollten. Damit müssen wir bereits bei den Kindern anfangen. Vorlesen ist dabei das beste Training für die Kleinen.

»Der kleine König« war eines Ihrer Vorlesebücher. Ich bin da nicht so auf dem Laufenden: Geht es um Markus Söder?

Das muss schon länger her sein. Zuletzt las ich »Die kleine Hexe«. Und nein, da ging es nicht um mich.

Noch einmal auf die Schulbank: Gerade noch haben wir zu Pandemiezeiten mehr Digitalisierung in den Schulen gefordert. Jetzt diskutieren wir, ob ChatGPT, wieder einmal, den Untergang des Abendlandes bedeutet. Welche Art von Bildung ist die Bildung für die Zukunft? Ich halte nichts davon, gleich mit Verboten und Horrorszenarien zu kommen, wenn es um Innovationen geht. Das Angebot wird nicht verschwinden, wenn wir es aus den Klassenzimmern verbannen. Wir müssen lernen, sinnvoll damit umzugehen. Aber auch unser Bildungssystem muss sich permanent weiterentwickeln. Möglicherweise werden mündliche Prüfungen künftig eine deutlich wichtigere Rolle einnehmen als Hausarbeiten, weil KI da nicht beim Schummeln helfen kann.

Im Kollegenkreis, wir nennen keine Namen, lassen sich Schulkinder längst ihre Hausarbeiten von Künstlicher Intelligenz schreiben. Sie sind ja nicht nur Digitalministerin, Sie sind auch Mutter zweier Kinder: Wie gefährlich ist so eine Entwicklung wirklich?

Wir brauchen hier künftig andere Bewertungskriterien in den Schulen. Wenn eine KI eine Prüfung besteht, dann müssen wir vielleicht die



»Es war richtig, 3,5 Milliarden Euro in Forschung und Universitäten zu investieren und den Transfer von KI in die Wirtschaft aktiv zu gestalten.«

Judith Gerlach

Prüfungsvorgaben ändern. Es sollte künftig aus meiner Sicht in der Schule noch mehr darum gehen, Sachzusammenhänge auf den Punkt zu bringen und Informationen kritisch zu hinterfragen, statt Inhalte wiederzugeben oder über Themen zu referieren. Entscheidend ist, dass wir unsere Kinder auf den künftigen Umgang mit solchen Technologien vorbereiten. Der passende Umgang mit ChatGPT und Co. könnte in der Schule künftig so normal sein wie das ABC.

Sie arbeiten an einer eigenen KI-Strategie. Wohin will sich Bayern entwickeln? Wir müssen Zukunftstechnologien wie KI nicht nur verstehen, sondern auch gestalten. Deswegen war es richtig, mit der bayerischen Hightech Agenda 3,5 Milliarden Euro in Forschung und Universitäten zu investieren, 100 neue KI-Lehrstühle aufzubauen und den Transfer von KI in die Wirtschaft aktiv zu gestalten. Denn wir können uns nicht wegducken. Sonst zieht der Rest der Welt an uns vorbei, während wir in Deutschland nur Bedenken haben. Bayern ist dabei auf dem besten Weg, zum modernsten Digitalstaat zu werden. Und auch im Bereich der Künstlichen Intelligenz setzen wir uns mit unserer KI-Strategie an die Spitze.

Sie saßen kürzlich in einer TV-Talkshow Seite an Seite mit dem Roboter Pepper. Der digitale Kollege hat auf die Frage, ob Künstliche Intelligenz zu einer Revolution führen werde, schlicht geantwortet: »Ja!«. Worin bestehen die großen Chancen? Die Einsatzmöglichkeiten von KI sind zahlreich, nehmen Sie zum Beispiel den bayerischen

Mittelstand. Wir helfen hier konkret dabei, dass Unternehmen im Freistaat ihre Geschäftsprozesse effektiver und kostengünstiger gestalten können. Im Rahmen unseres Programms »KI-Transfer Plus« arbeiten wir beispielsweise mit einem Landmaschinenhersteller zusammen, dessen Maschinen künftig dank KI punktgenau erkennen, ob es sich auf dem Acker um die angebaute Pflanze oder um Unkraut handelt. So lassen sich Pestizide sparsamer und zielgenauer einsetzen.

KI löst Ängste aus: Unbestimmte Ängste, aber auch sehr bestimmte Sorgen, dass Arbeitsplätze überflüssig werden könnten. Welche Jobs sehen Sie in Gefahr?

In der Debatte werden schnell Horrorszenarien entwickelt, die mit der Realität nichts zu tun haben. Wir haben es doch selbst in der Hand, wie wir die großen Chancen neuer Technologien für uns nutzen. Der Einsatz von Robotern in der Pflege ist zum Beispiel sinnvoll. Das heißt aber nicht, dass jetzt nur noch Roboter in Seniorenheimen eingesetzt werden. Das will niemand! Wenn wir uns bei einigen Aufgaben aber von Robotern unterstützen lassen, dann haben die Pflegekräfte, die wir ja auch händeringend suchen, mehr Zeit für das eigentlich Menschliche.

Ganz zum Schluss die Frage zum Abschalten: Kann man es sich als Digitalministerin noch leisten, auch mal offline zu sein? Natürlich! Die schönsten Dinge auf dieser Welt sind analog. Das Zusammensein mit der Familie oder ein persönliches Gespräch mit Freunden kann keine App ersetzen. ■



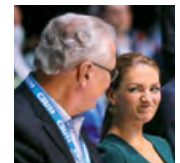
2021: Bienenfleiß im Ministerium

Eine Webcam beobachtet den Einflug in den Hightech-Bienenstock auf dem Dach des Digitalministeriums. Und die Ministerin beichtigt das Datensammeln, das dem Schutz der Umwelt dienen soll.



2021: Förmlich zum Fasching

Mit Zylinder zeigt sich die Digitalministerin startklar für die Prunksitzung des Faschnacht-Verbandes Franken: »Fliege richten und los!«



2022: Zwei Generationen beim Parteitag

Skeptisch schaut Digitalministerin Gerlach hinüber zu Bayerns Innenminister Joachim Herrmann.



2022: KI zum Niederknien

Im Würzburger Center for Artificial Intelligence und Robotics beobachtet Judith Gerlach zusammen mit Ministerpräsident Söder einen KI-Roboter.



Umgebungsenergie ernten

Wie lässt sich aus geringfügigen Temperaturunterschieden oder kaum spürbaren Vibrationen Strom gewinnen, um Sensoren oder Kleingeräte im Internet of Things energieautark zu betreiben? Die Zeit ist reif für Energy Harvesting.

Von Mandy Bartel

Bis zu 13 Billionen US-Dollar könnte das Internet of Things – kurz IoT – der globalen Wirtschaft bis zum Jahr 2030 an Mehrwert bringen. Das mit Abstand größte Potenzial hat die smarte Vernetzung von Geräten und Maschinen in Produktionsumgebungen – so rechnen es Analysten von McKinsey vor. Dort verspricht das Großnetz mehr Produktivität, weniger Ausfälle, mehr Transparenz. Durch den 2020 eingeführten 5G-Mobilfunkstandard mit Datenübertragungsraten von bis zu zehn Gigabit pro Sekunde

können unzählige drahtlose Sensoren – die zentralen Elemente des IoT – quasi in Echtzeit kommunizieren, Daten austauschen und verarbeiten. Zum Einsatz kommen sie zum Beispiel in der Zustandsüberwachung und vorausschauenden Instandhaltung von Maschinen, Gebäuden oder Brücken sowie beim Smart Metering.

Doch: Die neuen Möglichkeiten erfordern auch neue Wege der Energieversorgung. Denn der Aufwand für Batteriewechsel oder Installation und Wartung kabelgebundener Versorgung steigt mit der Anzahl

Grüne Lösung: Dank Energy Harvesting lassen sich Sensoren im IoT ganz ohne Kabel oder Batterien über einen Thermogenerator oder Vibrationswandler mit Strom versorgen.

Anlagen. »All das setzt Energie frei, die wir kaum spüren, die sich aber für kurze Aktionen wie der Übermittlung von Zustandsdaten einer Maschine oder Infrastruktur nutzen lässt«, erläutert Spies. So erzeugen etwa schon drei Grad Kelvin Temperaturdifferenz 100 Mikrowatt an elektrischer Leistung. Temperaturquellen wie Maschinen, Motoren oder Versorgungsleitungen sind nahezu in allen Industrieanlagen vorhanden. Selbst der menschliche Körper könnte als Energiequelle dienen. Strom aus Vibration ist ebenso sehr vielversprechend: Sogenannte piezoelektrische Generatoren erzeugen bei einer Frequenz von 50 Hertz und einer Beschleunigung von 0,1 Gramm etwa drei Milliwatt elektrischer Energie.

Die kleinen Erntemaschinen bestehen aus einem Generator als Energiewandler, einer Speichereinheit und einer Power-Management-Schaltung und lassen sich flexibel an die Anlagen anbringen. Die neueste Entwicklung von Spies und seinem Team ist ein energetisch optimiertes NarrowBand-IoT-Modul, das im 5G-Netz Versorgungsdaten erfasst und übermittelt. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten, nicht nur sogenannte Low Power Wide Area Networks (LPWAN) energieautark mit Strom zu versorgen, sondern auch Funksysteme mit größeren Datenraten und einem entsprechend höheren Energieverbrauch. »Zum Beispiel könnte künftig auch eine bidirektionale Kommunikation energieautark funktionieren. Das ermöglicht perspektivisch auch den Betrieb in einem öffentlichen Netz«, erklärt der Elektroingenieur.

Bis es so weit ist, gilt es noch einige Herausforderungen zu lösen: Aktuell arbeitet das Fraunhofer IIS an effizienteren Power-Management-Schaltungen und Zwischenspeichern für die Energie sowie an einer weiteren Miniaturisierung der Generatoren. »Während es für Thermo-Harvester schon massentaugliche Produkte gibt, müssen Piezogeneratoren noch spezifisch für den Anwendungsfall und die dort vorhandenen Energiequellen maßgeschneidert werden. So wird eine Versorgung aus Vibrationsenergie immer an die vor Ort auftretenden Schwingungsamplituden und Frequenzen angepasst.« Langfristig wollen die Forschenden dies vereinfachen. Das Potenzial ist groß – nicht nur in der Industrie, sondern auch in der Logistik, der Gebäudetechnik oder im Smart Home. Nicht zuletzt erhöhen zudem die gestiegenen Energiepreise die Relevanz von Energy Harvesting – und die Anzahl der Anfragen aus der Wirtschaft. ■

»Der Stromhunger neuer Funktechnologien und Mikroelektronikbauteile wird hingegen immer kleiner, sodass Energy-Harvesting-Module nun eine echte energieautarke Alternative zu Batterien oder Kabeln sind.«

Dr. Peter Spies,
Fraunhofer IIS

der Sensoren und der Geräte. Und davon sollen bis 2030 mehr als 25 Milliarden weltweit im IoT vernetzt sein, prognostizieren die Analysten. Zudem wird der Strom aus der Steckdose immer teurer. Warum also die Energie nicht gleich aus der unmittelbaren Umgebung ernten – aus minimalen Temperaturunterschieden, Vibrationen, Luftströmungen? Die Idee von Energy Harvesting, so der Fachbegriff, ist nicht neu. Kaum einer weiß das besser als Dr. Peter Spies, der schon seit vielen Jahren am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Nürnberg daran forscht. »Frühere Mobilfunkmodule haben so viel Energie verbraucht, dass der Bedarf mit Energy Harvesting nur schwer zu decken war. Da hätten wir riesige Wandler gebraucht. Der Stromhunger neuer Funktechnologien und Mikroelektronikbauteile wird hingegen immer kleiner, sodass Energy-Harvesting-Module nun eine echte energieautarke Alternative zu Batterien oder Kabeln sind.«

Strom generieren aus Vibrationen

Sein Augenmerk richtet der Forscher auf Vibrationen an Maschinen, Geräten oder Bauwerken sowie auf Temperaturunterschiede an Rohren, Leitungen oder

Fresszellen aus dem Reaktor

Sie erkennen und bekämpfen blitzschnell Viren, Bakterien, Schad- oder Wirkstoffe. Ohne Immunzellen würde der Mensch kaum eine Woche überleben. In der Medizin- und Pharmaforschung sind die kostbaren Zellen ebenso gefragt – für neue Therapeutika oder bessere Tests ohne Tierversuche. Erstmals lassen sie sich nun maßgeschneidert im skalierbaren Maßstab herstellen.

Von Mandy Bartel

Auch bei der Qualitätskontrolle von Impfstoffen können Designer-Immunzellen zum Einsatz kommen.



Stolz hält Prof. Nico Lachmann einen Glaszylinder in den Händen, in dem eine Art Schneegestöber tobt. Die Flocken bestehen aus sogenannten induzierten pluripotenten Stammzellen (iPSC). Ihre ganz besondere Superkraft: Sie können sich unbegrenzt teilen und in ganz unterschiedliche Zelltypen weiterentwickeln. Diese Eigenschaft nutzen der Forscher und sein Team am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover. »Wir regen die Stammzellen im Reaktor so an, dass sie eine bestimmte Art von Immunzellen ausbilden, die sogenannten Makrophagen«, erklärt Prof. Lachmann. Makrophagen, auch Fresszellen genannt, haben ihren Beinamen von ihrem Vorgehen gegen Eindringlinge: Sie umschließen die Keime oder Viren, zersetzen sie dann mittels eines Enzyms und machen sie so unschädlich.

Die Nachfrage nach solchen Designer-Immunzellen in der Medizin und Pharmaindustrie ist ebenso riesig wie ihr Potenzial: Mit ihrer Hilfe könnten die Wirksamkeit und Sicherheit von Arzneimittelkandidaten direkt an menschlichen Zielstrukturen getestet werden. Dadurch wären Tierversuche, die nur als ungefährender Indikator für eine menschliche Reaktion dienen, künftig überflüssig. Gleiches gilt für die Kosmetikherstellung: Würde man Immunzellen zum Beispiel in künstliche Hautgewebe einbringen, könnten sie noch präziser als bisher abbilden, wie ein menschlicher Organismus auf einen Wirkstoff reagiert – ganz ohne Tierversuche.

Auch die Qualitätskontrolle von Medikamenten können die vielseitigen Zellen vereinfachen. Denn sie lassen sich genetisch so verändern, dass sie leuchten, wenn sie Verunreinigungen in Arzneimitteln oder Impfseren aufspüren.

Nico Lachmann, der sowohl die Arbeitsgruppe Angewandte Stammzell- und Translationale Makrophagen-Forschung an der Medizinischen Hochschule Hannover MHH leitet als auch – im Rahmen des Fraunhofer-Förderprogramms Attract – die Projektgruppe am Fraunhofer ITEM, blickt noch weiter in die Zukunft: »Es wäre sogar denkbar, die Luftqualität in geschlossenen Räumen mithilfe von

Immunzellen zu prüfen, denn beim Einatmen sind es Makrophagen und andere Immunzellen, die zuerst auf Schadstoffe in der Luft reagieren.« Das wohl größte Potenzial liegt allerdings in ihrer therapeutischen Wirkkraft: Künstlich hergestellte und spezifisch an Patientinnen und Patienten angepasste Immunzellen könnten bald auch Krankheiten wie Krebs heilen. Um all dies weiter zu erforschen und zur Anwendungsreife zu bringen, ist der Bedarf an Designerzellen groß.

Erstmals kontinuierliche, skalierbare Produktion von Immunzellen

Doch sind maßgeschneiderte Immunzellen bisher nur sehr begrenzt verfügbar. Der Grund: Lange konnte man die Makrophagen nur in 2D züchten, etwa am Boden einer Petrischale. Das von Lachmann und seinem Team entwickelte, bislang einmalige Verfahren hingegen ist nach dem Schneekugel-Prinzip in 3D konzipiert. »Damit sind wir erstmals in der Lage, kontinuierlich größere Mengen der spezifischen, reifen Immunzellen herzustellen«, freut sich der Mediziner, der drei Jahre daran gearbeitet hat, den Prozess zu optimieren und zu standardisieren. »Die Stammzellen werden in der Lösung im Reaktorgefäß ständig in Bewegung gehalten, wobei Geschwindigkeit und Anstellwinkel des Mechanismus entscheidend sind. Mithilfe besonderer Bioprozesse produzieren sie dann fortwährend die avisierten Immunzellen. Erst nach etwa drei Monaten erneuern wir die iPSC, um eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten.«

Die Methode funktioniert im Kleinen genauso wie im großen, industriellen Maßstab so erfolgreich, dass die Forschenden bereits an weiteren Immunzellprodukten und zellbasierten Immuntherapien arbeiten, um neue Anwendungen zu erschließen. Aufgrund des großen Interesses von Pharmaunternehmen, Kosmetikherstellern und Forschungsinstituten eruiert sie derzeit, wie sich die Technologie praktisch und wirtschaftlich verwerten lässt. Denn: »Eine Idee wird zur Innovation, wenn sie in die Anwendung gelangt«, ist Nico Lachmann überzeugt. »Mir ist es wichtig, dass meine Forschung den Weg in die Klinik zum Patienten findet.« ■

Stellt in seinem Schneekugel-Reaktor beliebig skalierbar Immunzellen aus induzierten pluripotenten Stammzellen her: Prof. Nico Lachmann.



Pioniere der Stammzellforschung

2006 gelang es den Stammzellforschern Shin'ya Yamanaka und Sir John Bertrand Gurdon, reife Hautzellen in ursprüngliche embryonale, sogenannte induzierte pluripotente Stammzellen (iPSC) umzuwandeln. Diese können sich anschließend wieder zu verschiedenen Zelltypen weiterentwickeln, zum Beispiel zu Immunzellen. Dafür erhielten der Japaner und der Brite 2012 den schnellsten Nobelpreis der Medizingeschichte.



Starthilfe für Herzensprojekte

Erstmals in ihrer Geschichte gab die Fraunhofer-Zukunftsstiftung persönlichen Herzensanliegen von Forschenden eine Bühne und ließ Bürgerinnen und Bürger mitentscheiden, welches Projekt gefördert werden soll. Beim Crowdfunding-Wettbewerb ScienceForGood hieß es für sechs Fraunhofer-Institute »Auf die Plätze, Forschung, los!«.

Von Beate Strobel

Welches Forschungsprojekt überzeugt die Zivilgesellschaft? Darüber ließ die Fraunhofer-Zukunftsstiftung entscheiden – mit einem Aufruf auch in diesem Magazin. Beim Crowdfunding-Wettbewerb ScienceForGood 2022 standen sechs Forschungsprojekte zur Auswahl. Während beim Projekt Müllberge ade! Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU nach einem ökologisch sinnvollen Umgang mit Klinik-Abfall fahnden, hat sich ein interdisziplinär besetztes Team des Fraunhofer-Zentrums für Internationales Management und Wissensökonomie IMW damit auseinandergesetzt, wie Informationen über die Nachhaltigkeit von Warentransporten an die Konsumenten gelangen könnten. Der Ansatz des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB beschäftigt sich mit Möglichkeiten, Phosphat aus belasteten Gewässern zu filtern und wieder nutzbar zu machen, das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI will im Projekt YES! ein innovatives Sicherheitskonzept für Radfahrende entwickeln und ein Forschungsteam des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME stellt in 2detect ein ökonomisches Testverfahren für Influenza und Covid-19 in Aussicht. Und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektrische Schaltungen und Systeme IMS fokussieren schließlich mit Learn AlfES auf Webinare, mit denen Wissen über die Nutzung des Open-

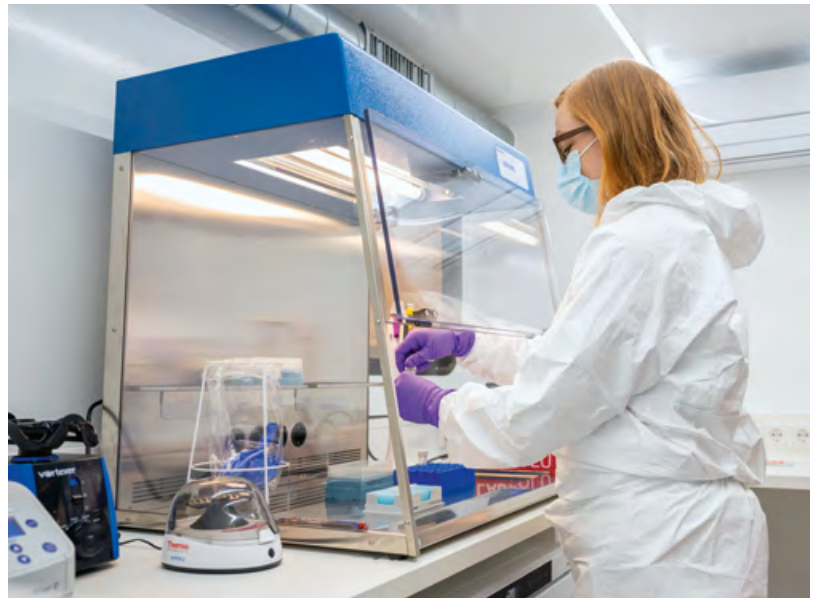
Source KI-Software-Frameworks AlfES vermittelt werden kann. 55 Tage hatten die Forschenden Zeit, auf der Plattform www.startnext.de möglichst viele Menschen von ihrer Idee zu überzeugen und als Spender zu gewinnen.

Durchgesetzt haben sich die drei rechts beschriebenen Projekte. Die Fraunhofer-Zukunftsstiftung vervielfachte mit einem Cofunding-Budget von insgesamt 120 000 Euro die Spenden aus der Zivilgesellschaft und vergab außerdem Preisgelder an die drei Teams mit der größten Unterstützenden-Schar. 2023 wird für sie nun das Jahr, in dem sie mithilfe der Spenden und Fördermittel ihr Vorhaben in die Tat umsetzen. Die Unterstützenden werden dabei über Projektseiten und Blogs auf dem Laufenden gehalten – schließlich ist es ja auch »ihr« Projekt.

»Crowdfunding ist nicht nur ein Weg zur Co-Finanzierung eines Projekts, sondern auch ein wichtiges Kommunikationsinstrument – und ein erster Markttest«, erklärt Alexandra Goßner, Projektleiterin von ScienceForGood. Wie stellen Forschende ihre persönliche Begeisterung am besten dar – und wie kommt die Idee bei den Menschen an? Gerade der Austausch mit Interessierten auf der Crowdfunding-Plattform und deren Fragen hätten sich als bereichernd erwiesen, erklärt Goßner. Ein Coaching-Programm unterstützte die Forschenden bei der Kommunikation zu ihren Vorhaben. Eine wichtige Erfahrung hierbei: Man muss nicht zwingend ein Entertainer sein. »Auch introvertierte Persönlichkeiten können mit ihrer Passion für das Projekt überzeugen«, so Goßner. ■

Platz 1: 2detect

Fieber, Husten, Schnupfen – was steckt dahinter? Wenn im Herbst und Winter Grippe- und Coronawellen aufeinandertreffen, ist es nahezu unmöglich, die beiden Viruserkrankungen nur anhand der Symptome auseinanderzuhalten. Doch die optimale Therapie setzt eine schnelle Diagnose voraus. Ein fünfköpfiges Forschungsteam vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME will im Projekt 2detect das für das Coronavirus bereits vorhandene und sehr zuverlässige LAMP-Testverfahren erweitern, sodass ein Nasenabstrich zeitgleich auf Corona- und Grippeviren hin untersucht werden kann: zwei Virentests in einem. Das spart Material, Kosten und Zeit – und ermöglicht so den frühzeitigen Start der richtigen Therapie.



Auf dem Weg zum 2-in-1-Testverfahren:
Lena Freund vom Projekt 2detect.



Wasser wieder sauber machen: Forscher und Hobby-Taucher Steffen Roth hat da eine Lösung entdeckt.

Platz 2: Phosphatfänger

Phosphat zählt zu den Nährstoffen, die die Wasserqualität stark belasten und im Extremfall dazu führen können, dass Gewässer schließlich kippen. Andererseits wird das Salz als wichtiger Düngemittel-Bestandteil in der Landwirtschaft dringend benötigt. Steffen Roth, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Straubing, will deshalb über biobasierte Proteine das Phosphat aus belasteten Gewässern ziehen und diese als Rohstoffquelle für die Landwirtschaft nutzbar machen. Mit diesem Vorgehen soll der Phosphatkreislauf geschlossen und gleichzeitig Gewässer geschützt werden.

Platz 3: Müllberge ade!

3,5 Millionen Tonnen Kunststoff-Abfall pro Jahr: Nicht erst seit der Coronakrise sind Krankenhäuser der fünftgrößte Müllproduzent in Deutschland. Denn egal, ob Spritzen, Tests, Verpackungen, Becher – meist werden in Kliniken Einweg-Produkte verwendet. Aus hygienischen Gründen werden diese Abfälle in der Regel nicht recycelt, sondern vollständig verbrannt. Susanne Kroll und Marc Luginsland vom Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU planen, Kunststoffabfälle aus der Klinik erst zu dekontaminieren und dann so aufzubereiten, dass das Rezyklat zur Herstellung neuer Produkte verwendet werden kann.



Zweite Chance für Einweg-Ware: Auch Klinikmüll muss nicht verbrannt werden.

Vom Reststoff zum Rohstoff

Industrieabwässer können Stickstoff, Phosphor, wertvolle Metalle und Co. enthalten – viel zu schade, um sie einfach nur zu entsorgen. Fraunhofer-Forschende arbeiten daran, die wertvollen Stoffe zurückzugewinnen.

Von Mehmet Toprak

Abwasser ist Abwasser? Auch da ändert sich, was bei Abfall lange schon erkannt ist: Es steckt viel Wertvolles darin. Zehn Milliarden Kubikmeter Abwasser werden in Deutschland von mehr als 9000 öffentlichen Kläranlagen pro Jahr geklärt, gefiltert, gereinigt. War früher die Reinigung das alleinige Ziel, rückt zunehmend ein zweiter Aspekt in den Fokus: die Extraktion nutzbarer Rohstoffe aus den sogenannten Prozesswässern der Industrie. An Technologien und Konzepten dafür arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS.

Prozesswässer sind Abwässer, die mit Chemikalien oder Reststoffen aus der industriellen Produktion verunreinigt sind: Zur Herstellung oder für die Vorbehandlung von Produkten, für die Reinigung von Materialien, für chemische Reaktionen oder Syntheseprozesse werden zahlreiche Arten von Chemikalien benötigt. Sie verbleiben ebenso wie Produktrückstände häufig in Spül- und Reinigungsbädern, die dann als sogenannte Prozesswässer behandelt werden müssen, um die Umwelt zu schonen.

Wenn es darüber hinaus gelingt, Prozesschemikalien wie etwa Natriumhydroxid (NaOH) oder Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure, HCl) in ausreichend hoher Reinheit aus dem Abwasser zurückzugewinnen, dient das nicht nur der Umwelt, sondern auch der Wirtschaft. Denn die dem

Prozesswasser entzogenen Verbindungen lassen sich wieder für die Produktion nutzen. Interessant sind auch Stickstoff und Phosphor, die aus einigen Prozesswässern extrahiert werden und als Dünger in der Landwirtschaft Verwendung finden. Bei metallverarbeitenden Betrieben könnten sogar Metalle wie Silber und Kupfer zurückgewonnen und dem Stoffkreislauf wieder zugeführt werden.

»Auf diese Weise sparen Industriebetriebe in erheblichem Ausmaß Rohstoffe und Ressourcen«, erklärt Dr. Burkhardt Faßauer. Der Leiter der Abteilung Kreislauftechnologien und Wasser am Fraunhofer IKTS fügt hinzu: »Angesichts der weltweit steigenden Rohstoffpreise ist das ein schöner Beitrag zur Senkung der Kosten und ein großer Schritt in Richtung Kreislaufwirtschaft.«

Für ihre Forschungsarbeiten haben sich die Fraunhofer-Expertinnen und -Experten einen besonderen Standort ausgesucht. Er befindet sich auf dem Gelände des Gemeinschaftsklärwerks Bitterfeld-Wolfen, eine der größten und modernsten Kläranlagen Mitteldeutschlands. Diese klärt die Abwässer von knapp 300 Betrieben eines nahegelegenen Chemieparks. Die Forschenden haben kein Labor im üblichen Sinne aufgestellt, sondern mehrere variabel bestückbare Versuchscontainer. »Wir haben damit eine flexibel einsetzbare Technologie-Plattform, die es uns ermöglicht, innovative Reinigungsverfahren für spezialisierte Bedarfe der Industrie-

kunden zu entwickeln und gleich vor Ort zu testen«, sagt Faßauer. Das ist entscheidend, denn bei der Abwasserklärung gibt es nicht zwei oder drei Standard-Methoden. »Effiziente Reinigung ist sehr häufig eine Kombination unterschiedlichster Verfahren, die individuell auf das jeweilige Abwasser abgestimmt sind«, erklärt Faßauer. Neben dem Fraunhofer IKTS waren am Aufbau der Forschungsplattform auch die Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE, für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME sowie für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS beteiligt.

Den Forschenden am Fraunhofer IKTS kommt ihre jahrelange Expertise in der Membran-Technologie zugute. Durch die Kombination weiterentwickelter Keramik-Membranen mit elektrochemischen, sonochemischen und photokatalytischen bis hin zu biologischen Prozessen lassen sich komplex zusammengesetzte Prozesswässer aus der Industrie bedarfsgerecht filtern und aufbereiten. Diese stellen dann keine Gefahr für Gewässer und Grundwasser mehr dar. Obendrein können häufig Energie und Wertstoffe gewonnen werden.

Die Zusammenarbeit zwischen Klärwerk, Fraunhofer und Industrie ist auch nützlich für ein Konzept, das die Fachleute vor Ort »Stoffverbund« nennen. Dabei tauschen die Hersteller untereinander Roh- und Reststoffe aus. Faßauer bringt es auf den Punkt: »Der Reststoff des einen ist der Rohstoff des anderen.« ■

10 Milliarden Kubikmeter
Abwasser werden in
Deutschland von mehr als

9000

öffentlichen Kläranlagen
pro Jahr geklärt, gefiltert,
gereinigt.

Eine etwas andere Quelle
für Rohstoffe: Der Blick auf
industrielle Abwässer hat
sich geändert.

Via VR-Brille in den Hörsaal

Eine interaktive Mixed-Reality-Anwendung könnte die Online-Lehre von morgen revolutionieren.

Von Yvonne Weiß

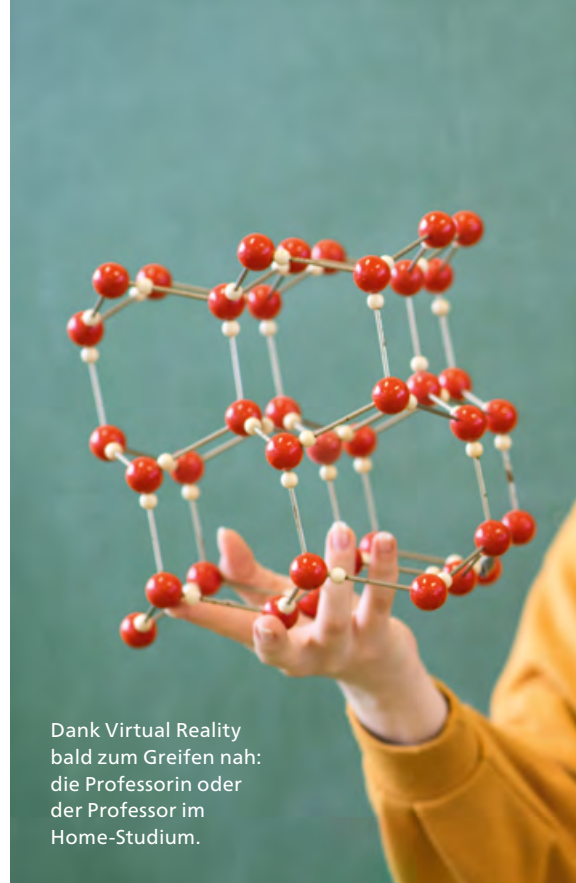
Brille auf und schon ist es, als habe sich die Professorin aus dem Hörsaal direkt ins Studentenzimmer gebeamt. Sie steht vor dem Sofa, legt erst die Stirn in Falten und schüttelt vehement den Kopf. Dann beantwortet sie ausführlich alle Fragen, die während ihrer Vorlesung aufgenommen sind. Eine private Sprechstunde, wenn man so will, für die niemand mehr das Haus verlassen muss. Nicht der Lernende, nicht die Lehrende.

Wie eine solche Szene Universitäts-Realität werden kann, untersucht aktuell das vom Bundesforschungsministerium geförderte Projekt VoluProf. Unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI entwickelt das Forschungsteam seit 2021 eine Mixed-Reality-Anwendung, die über VR-Brillen zugänglich ist. Dort können Studierende rund um die Uhr ihren Professor oder ihre Professorin in Form eines Avatars treffen – und sich mit ihm oder ihr unterhalten. »Die Grundidee ist, den Professor nach Hause holen zu können«, erklärt Dr. Cornelius Hellge, Leiter der Gruppe »Multimedia Communications« am Fraunhofer HHI und Initiator des Projekts.

Der Clou: Der Avatar ist keine Fantasiegestalt, sondern fotorealistisch. »Wir haben uns bewusst für eine 1:1-Abbildung der Professorin entschieden«, erklärt Dr. Anna Hilsmann, Leiterin der Abteilung »Vision & Imaging Technologies« und Gruppenleiterin von »Computer Vision & Graphics« am Fraunhofer HHI. Die Studierenden sollen so das Gefühl bekommen, ihre echte Professorin in einem interaktiven Raum zu erleben. Ein grundsätzlich anderes Ambiente also als die aktuell existierende Online-Lehre.

Für die Entwicklung des fotorealistischen Avatars nimmt das Fraunhofer HHI gemeinsam mit dem Projektpartner Volucap GmbH volumetrische Videoaufnahmen einer realen Professorin der Universität Rostock auf. Das Videoformat, das auch Namenspathe des Projekts ist und bereits für Zeitzeugeninterviews eingesetzt wird, zeigt die Professorin in 3D. Um ihr Auftreten in der Anwendung später noch realistischer wirken zu lassen, stattet das Team den Avatar mit dem Gestik-Repertoire und realen Bewegungsmustern der Professorin aus und lässt ihn mit ihrer Stimme sprechen.

Ein Modul des Heidelberger Softwareherstellers Aristech GmbH wandelt hierfür



Dank Virtual Reality bald zum Greifen nah: die Professorin oder der Professor im Home-Studium.

»Wir haben uns bewusst für eine 1:1-Abbildung der Professorin entschieden.«

Dr. Anna Hilsmann, Fraunhofer HHI

die Fragen der Zuhörenden zunächst in einen Text um, der via Chatbot an ein KI-Modul des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz GmbH DFKI weitergeleitet wird. Die Künstliche Intelligenz generiert anschließend auch die Antwort der Professorin. Diese wird wiederum als Text an das Aristech-Modul zurückgesendet und dort in Sprache umgewandelt. Dadurch kann der Avatar im virtuellen Raum Fragen mit der Stimme der Professorin beantworten.

»Besonders wichtig ist bei alledem das Gefühl einer Echtzeit-Kommunikation, da jede Verzögerung für den Nutzer als störend empfunden wird«, so Hellge. Auch das Streaming auf mobile Geräte, also Handys, Tablets und VR-Brillen, spielt eine entscheidende Rolle. An einer schnellen Übertragung



»Besonders wichtig ist das Gefühl einer Echtzeit-Kommunikation, da jede Verzögerung für den Nutzer als störend empfunden wird.«

Dr. Cornelius Hellge, Leiter der Gruppe
»Multimedia Communications« am Fraunhofer HHI

über mobile 5G-Netze arbeitet das Fraunhofer HHI daher aktuell gemeinsam mit dem Projektpartner Deutsche Telekom AG.

Ein großer Vorteil der Software ist laut Hilsmann die Omnipräsenz. Diese sei im Bereich der Lehre von besonderer Bedeutung. »Informationen sind durch die Anwendung für die Studierenden rund um die Uhr abrufbar. Gleichzeitig kann jederzeit eine Interaktion mit der lehrenden Person stattfinden, beispielsweise, wenn bei der Nachbereitung der Vorlesung noch Fragen auftauchen.« Umständliche E-Mail-Korrespondenz oder gar der Besuch von Sprechstunden könnte damit eines Tages der Vergangenheit angehören.

Was die technischen Aspekte betrifft, befindet sich das Projekt auf einem sehr guten Weg. »Die Grundfunktionalität und die Einzelkomponenten sind bereits vorhanden. Jetzt geht es darum, diese in das Gesamtsystem zu integrieren«, erklärt Hellge. Anschließend wird sich das Team um die Detailoptimierung wie die bestmögliche Qualität des Avatars und die Gesamtlatenz kümmern. Ziel ist es, bis Ende des Projekts 2024 den Use Case auf Demonstrator-Ebene zeigen zu können. Dieser wird dann nicht nur im Labor, sondern bereits über echte Netze laufen.

Bis der Lehr-Avatar auch wirklich in der Studentebude steht, müssen allerdings noch ein paar ethische Fragen beantwortet werden, um die sich vor allem die Universität Rostock als Projektpartner kümmert. »Hier geht es zum Beispiel darum, sicherzustellen, dass der Professor im virtuellen Raum die Kontrolle behält«, erklärt Hellge. »Vielleicht möchte er ja nicht, dass man hinter ihn läuft. Solche Punkte müssen wir noch klären.« Und auch andere datenrechtliche Aspekte gilt es zu beachten. »Wir müssen beispielsweise absichern, was mit den Bilddaten gemacht wird«, so Hilsmann. Der Datenschutz spiele eine wichtige Rolle, da man zwar einerseits mit den Daten arbeiten, aber die Privatsphäre aller Beteiligten dennoch zu jeder Zeit schützen müsse.

Laufende User Tests der Universität Rostock sollen die Nutzungsfreundlichkeit der Anwendung sicherstellen. Wird das Projekt gut angenommen, könnte es auch andere Bereiche des Alltags revolutionieren. »Die virtuelle Repräsentanz von Menschen ist eine intuitive Schnittstelle der Kommunikation. Sie wird besonders spannend in Bereichen, wo Interaktion notwendig, aber nicht ausreichend menschliche Kapazität vorhanden ist«, konstatiert

Hilsmann. Dies gelte zum Beispiel für das Therapiefeld oder auch für die Echtzeit-Kommunikation. Das Fraunhofer HHI setzt bereits Projekte zu diesen Themenbereichen um.

Müssen sich Menschen sorgen, dass der virtuelle Raum persönliche Kontakte in der Realität oder eines Tages auch echte Lehrende vollständig ersetzen wird? Auf keinen Fall, so Hellge und Hilsmann. »Der persönliche Kontakt ist noch mal etwas ganz anderes. Außerdem kann bisher nur ein Teil der Wahrnehmung in den virtuellen Raum transportiert werden, nämlich Audio- und visuelle Aspekte«, bemerkt Hellge. All die anderen Sinneswahrnehmungen müssen – bislang – draußen bleiben.

Hilsmann betont, dass es vielmehr darum gehe, zusätzliche Alternativen anzubieten. »Immersive Medien sollen Möglichkeiten eröffnen für Situationen, in denen direkter Kontakt notwendig, aber nicht möglich ist.« Egal, ob es darum geht, besser für zukünftige Pandemien gewappnet zu sein, der 200 Kilometer entfernten Kollegin mittags dreidimensional bei einem Kaffee gegenüberzusitzen oder eben doch den Professor auf die Studentencouch zu holen. ■

3x3 Fragen zu 3 Jahren Corona

Am 27. Januar 2020 erreichte das Coronavirus Deutschland, am 11. März 2020 wurde die Epidemie offiziell zur Pandemie erklärt. Wie haben sich Fraunhofer-Institute eingebracht in die Bekämpfung des Virus, was lernen wir aus drei Jahren Pandemie? Nachgefragt bei drei Fraunhofer-Experten.

1 Was war Ihre persönlich wichtigste Lernerfahrung in den drei Corona-Jahren?

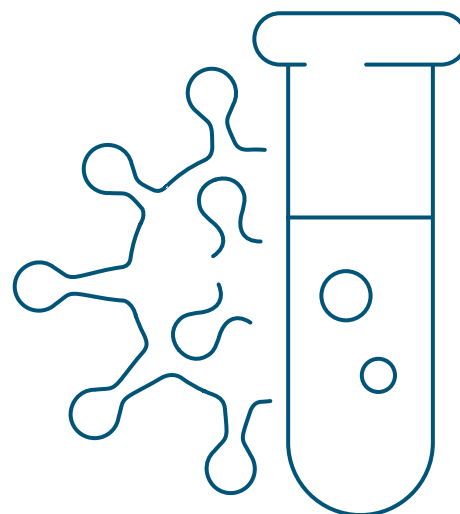
Vermutlich die Tatsache, dass man auch in Deutschland, wenn es sein muss, flexibel und schnell handeln kann, ohne durch Bürokratie zu sehr ausgebremst zu werden. Hierauf müssen wir aufbauen. Selbstkritisch müssen wir uns in der Wissenschaftsgemeinde fragen, warum wir es nicht geschafft haben, gerade zu Beginn der Pandemie die Anstrengungen besser zu bündeln und zu koordinieren.

2 Eine kleine Prognose, bitte: Wird die Forschung den viralen Gegner namens SARS-CoV-2 bald besiegen oder wenigstens in die Ecke drängen können?

SARS-CoV-2 hat uns im Feld der virologischen Forschung viele neue Erkenntnisse gebracht. Das Virus wird vermutlich als endemischer Erreger persistieren, allerdings haben die Anstrengungen der Impfstoff-, Diagnostik-, Präventions- und Therapieforschung viele neue Techniken und Vorgehensweisen hervorgebracht und erprobt. Das wird uns bei anderen Erkrankungen auf jeden Fall zugutekommen. Ohne neue Variante hat SARS-CoV-2 seinen Schrecken verloren.

3 Welches Wissen der vergangenen drei Jahre könnte entscheidend sein, um eine nächste Pandemie zu verhindern oder deren Verlauf zu mildern?

Wir haben erstmals gesehen, wie schnell sich mit der mRNA-Technik wirksame Impfstoffe herstellen und weltweit einsetzen lassen, dies könnte sich bei anderen Ausbrüchen als sehr wichtig erweisen. Genug Schutzausrüstung und Desinfektionsmittel sowie das »social distancing« haben sich auch als gute Mittel herausgestellt, um die Zeit zu überbrücken, bis Therapeutika oder Impfstoffe zur Verfügung stehen. Auch ist noch einmal klar zu erkennen gewesen, dass mehr therapeutische und diagnostische Reserven vorgehalten werden sollten. ■



Pandemie-Bekämpfung am Fraunhofer ITMP

Bearbeitet werden verschiedene Modell-erreger in einem Baukastensystem, um im Ausbruchsfall schnell angepasste Diagnostika und Therapeutika entwickeln und bereitstellen zu können. Der Aufbau eines globalen Netzwerkes soll helfen, bei einem Virus-Ausbruch weltweit rasch reagieren und koordinierte Reaktionen der internationalen Gemeinschaft unterstützen zu können.



Prof. Michael Hölscher,
Standortleiter
Penzberg/München,
Fraunhofer Institut für
Translationale Medizin und
Pharmakologie ITMP

Projekt DEFEND-CoV2

Um für künftige Pandemien durch virale Erreger besser gerüstet zu sein, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI eine Impfstoff- und Wirkstoffpipeline aufgebaut und eine Infrastruktur für das Austesten und Bewerten von Impfstoffen und Wirkstoffen gegen SARS-CoV-2 insbesondere für kleinere Unternehmen und akademische Institutionen geschaffen.

1 Was war Ihre persönlich wichtigste Lernerfahrung in den drei Corona-Jahren?

Durch unseren Forschungsschwerpunkt Impfstoffe und Infektionspathologie mit dem Hochsicherheitslabor waren wir von Anfang an in verschiedenste Projekte und Studien zur Pandemie eingebunden und sind es immer noch. Durch die vielen Anfragen – vor allem aus der Industrie – mussten wir lernen, schnell und flexibel zu sein. In kurzer Zeit haben wir unterschiedlichste Testsysteme aufgebaut, etwa wurden Luftbedingungen einer Flugzeugkabine im Labor nachgestellt und SARS-CoV-2 so untersucht.

2 Eine kleine Prognose, bitte: Wird die Forschung den viralen Gegner namens SARS-CoV-2 bald besiegen oder wenigstens in die Ecke drängen können?

Besiegen kann man Viren nur, indem man sie komplett ausrottet, aber das ist für SARS-CoV-2 sehr unwahrscheinlich. Allerdings wird man dem Virus den Schrecken nehmen durch Impfung oder Therapie. Bei beidem ist ja bereits viel passiert. Die vorhandenen Impfstoffe schützen vor schweren Verläufen, und es sind viele Wirkstoffe in der Entwicklung, welche einen Krankheitsverlauf abmildern können.

3 Welches Wissen der vergangenen drei Jahre könnte entscheidend sein, um eine nächste Pandemie zu verhindern oder deren Verlauf zu mildern?

Eine wichtige Erfahrung ist, dass Impfstoffe während einer Pandemie schnell zugelassen werden können. Allerdings müssen beim nächsten Mal die Nationen besser an einem Strang ziehen. Impfstoffe müssen billiger hergestellt und schnellstmöglich global verteilt werden. ■



Dr. Sebastian Ulbert,
Leiter der Abteilung Impfstoffe und Infektionsmodelle und stellv. Leiter des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI

Der Pathogen Analyzer

Schnelle und zugleich verlässliche Auskunft über eine vorliegende Corona-Infektion liefert das mobile Analysegerät, das die Fraunhofer-Institute IGB und IPT sowie das US-amerikanische Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation entwickelt haben. Wie beim PCR-Test wird das Erbgut der Viren in einem Nasen-Rachen-Abstrich nachgewiesen, das Ergebnis liegt aber bereits nach maximal 40 Minuten vor.

1 Was war Ihre persönlich wichtigste Lernerfahrung in den drei Corona-Jahren?

Das Eskalationsverhalten zwischen Corona-Leugnern und Impfgegnern, Impfkritikern und Corona-Skeptikern sowie Corona-Verstehern und Impfüberzeugten war nicht gut und hat unseren gesellschaftlichen Zusammenhalt empfindlich gestört. Für die Zukunft habe ich gelernt, dass wir auch bei erheblichen Meinungsverschiedenheiten respektvoll miteinander umgehen müssen.

2 Eine kleine Prognose, bitte: Wird die Forschung den viralen Gegner namens SARS-CoV-2 bald besiegen oder wenigstens in die Ecke drängen können?

Das Virus besiegt sich gerade ja selbst. Die Corona-Pandemie ist endemisch geworden. Hoffen wir, dass es so bleibt und das Virus nicht durch die schlecht geschützten Bevölkerungsgruppen Anfang 2023 neuen Schwung bekommt. Ich bin aber sicher, dass wir das Problem durch Forschung in den Griff bekommen würden. Schnelle, rasch anpassbare und genaue Tests unterstützen die Pandemie-Bekämpfung.

3 Welches Wissen der vergangenen drei Jahre könnte entscheidend sein, um eine nächste Pandemie zu verhindern oder deren Verlauf zu mildern?

Wir haben viel dazugelernt. Der erste Lockdown war meines Erachtens (fast) konsequent und richtig. Aber danach? Fehler oder Fehleinschätzungen haben hoffentlich zu einem Lerneffekt beigetragen, sodass wir uns bei der nächsten Pandemie geschickter verhalten werden. Ich denke vor allem an die Kinder und Jugendlichen und die Abhängigkeit von Medikamenten aus dem Ausland. ■



Dr. Achim Weber,
Abteilung Funktionale Oberflächen und Materialien, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB



»Entscheidend ist die kollektive menschliche Intelligenz«

In einer Welt, die durchgeplant und beständig schien, ist Unsicherheit zum ständigen Begleiter geworden. Ein Gespräch mit Dr. Philine Warne vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI über Zukunft und gesellschaftliche Verständigung.

Interview: Mandy Bartel

Die Welt im Blick: Installationsprojekt GAIA des britischen Künstlers Luke Jerram im Old Royal Naval College in Greenwich.

_____ **Sie leiten das Geschäftsfeld Zukunftsdialoge beim Fraunhofer ISI. Was erwartet uns 2023?**

Die Unsicherheiten werden weiter zunehmen. Wir sehen in einigen Bereichen, etwa beim Klimawandel, dass wir bereits an Kippunkte kommen. Und wenn komplexe Systeme solche Punkte erreichen, häufen sich die Turbulenzen. Eine konkrete Auswirkung auf uns wird in diesem Jahr die Entwicklung von Covid in China haben, die wir auch an unseren Wertschöpfungsketten in Europa spüren werden. Aber, und das muss man klar sagen: Es können natürlich auch positive unerwartete Dinge passieren. Denn Unsicherheit muss ja nicht immer nur negativ sein.

_____ **Mit welchen Fragestellungen beschäftigen Sie sich in Ihrem Bereich genau?**

Wir unterstützen mit den Zukunftsdialogen Gruppen dabei, sich strategisch mit der Zukunft auseinanderzusetzen, um besser mit Unsicherheiten umgehen zu können. Ziel ist es, den Blick zu weiten und auch für andere Perspektiven zu öffnen. Denn wie wir Zukunft denken, hat einen ganz starken Einfluss darauf, welche Möglichkeiten wir in der Gegenwart überhaupt sehen.

_____ **Welche Methoden nutzen Sie dafür?**

Wir nutzen zwar auch Machine-Learning-Methoden, um das, was in der Gegenwart passiert, besser wahrnehmen zu können. Zum Beispiel, um in den Sozialen Medien schneller zu sehen, in welchen Bereichen eine große Dynamik zu erkennen ist. Aber das sind nur Hilfsmittel. Viel entscheidender sind interaktive Dialogmethoden wie Workshops oder Zukunftswerkstätten. Dort bringen wir Leute zusammen, die sich darüber austauschen, was diese Änderungen überhaupt bedeuten, und das eigene Vorstellungsvermögen erweitern. Es ist entscheidend, diese kollektive menschliche Intelligenz zu nutzen.

_____ **Was haben wir – mit etwas Abstand – kollektiv als Gesellschaft aus der Coronazeit für die Zukunft gelernt?**

Es ist bei allen ein viel größeres Bewusstsein dafür entstanden, dass wir Unsicherheit ernst nehmen und die Resilienz unserer Systeme stärken müssen. Um gestärkt aus einer Krise herauszugehen, ist es jedoch wichtig, sich eine gesellschaftliche Identität zu bewahren. Nur so können wir gemeinsam daraus lernen. Doch wir sehen jetzt, dass Krisen eben

Interview



Dr. Philine Warnke

auch zu einer Polarisierung führen können und jede Gruppe ihre Lehren einzeln daraus zieht.

_____ **Das hat ja auch der Club of Rome 2022 als größte Herausforderung unserer Zeit identifiziert: nicht etwa den Klimawandel, sondern unsere Unfähigkeit zur gesellschaftlichen Verständigung und Zusammenarbeit. Was würden Sie der Politik raten, um dies zu überwinden?**

Das kann ich nur unterstreichen. Dazu kann unsere Arbeit auch einen kleinen Teil beitragen – etwa indem mehr Vorausschau-Initiativen etabliert werden, um Menschen zusammenzubringen und gemeinsam Probleme zu lösen. Dabei ist es hilfreich, aus dem aktuellen Modus herauszukommen und eine längerfristige Perspektive einzunehmen. Dadurch kann man Dinge, die in der Gegenwart sehr konfliktbehaftet sind, oft etwas entschärfen. Und man sieht: Häufig bestehen mehr Gemeinsamkeiten, als man vielleicht zunächst denkt. Die gilt es, herauszuarbeiten. Zudem gibt es noch weitere Initiativen wie zum Beispiel Bürgerräte, um Demokratie anders zu gestalten und zu stärken. ■

Das ganze Gespräch hören Sie im Podcast:





EUROPA

Grüne Logistik für Binnenhäfen

Binnenhäfen bieten mit ihrer Anbindung an Wasser, Schiene und Straße optimale Voraussetzungen für flexible Transportlösungen. Wie der Güterverkehr durch die Einbindung europäischer Binnenhäfen nachhaltiger und effizienter gestaltet werden kann, untersucht das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML zusammen mit 21 Partnern aus Hafenbetreibern, Industrie, Dienstleistung und Forschung im EU-Projekt MuliTRELOAD. Ziel der dreijährigen Kooperation unter der Leitung des Duisburger Hafens ist es, Kapazitäten wie Infrastruktur und Daten zukünftig gemeinsam zu nutzen. Das Fraunhofer IML ist maßgeblich an der Entwicklung verschiedener Demonstratoren zur Digitalisierung und Automatisierung betrieblicher Prozesse beteiligt, wie beispielsweise der automatisierten Zugentladung mithilfe intelligenter Sensoren. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten zudem an Services, die computergestützte Handlungsempfehlungen für die Logistik auf Basis von Künstlicher Intelligenz ermöglichen. Die entwickelten Lösungen sollen in den Häfen Duisburg, Basel und Wien evaluiert und umgesetzt werden.



Der Duisburger Hafen gilt als größter Binnenhafen der Welt. Das Areal erstreckt sich auf 40 Kilometer Uferlänge.

Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Pakete mit der Tram zu transportieren statt mit dem Lieferwagen könnte CO₂ einsparen und den Stadtverkehr entlasten.



ÖSTERREICH Packerl to go

Online bestellen ist bequem, einfach und schnell – nur nicht umweltfreundlich. Um den Lieferverkehr zu reduzieren, entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Fraunhofer Austria im Projekt »Öffi-Packerl« ein klimaschonendes »Letzte-Meile-Konzept«: Fahrgäste des ÖPNV befördern Kleinpakete von einer Paketbox zur nächsten, die entlang der Fahrstrecke an stark frequentierten Haltestellen stehen. In einer Machbarkeitsstudie mit 6000 Befragten waren zwei Drittel grundsätzlich bereit, Pakete auf ihrer Route zu transportieren. Aktuell werden unter anderem Fahrgastströme analysiert, um geeignete Strecken und

Standorte für die energieautarken Paketstationen zu identifizieren. Ab 2024 startet die Testphase auf zwei Wiener Straßenbahnlinien und zwei Buslinien in Oberösterreich. Ziel des ganzheitlichen Kooperationsprojekts ist die Entwicklung einer App, die die Transportkapazitäten der Fahrgäste mit dem Paketaufkommen koordiniert. Die Bereitstellung der Pakete an den Haltestellen soll auch den Lieferservice verbessern. Darüber hinaus werden die ökonomischen, ökologischen und sozialen Effekte bewertet. Bedarf ist jedenfalls vorhanden: Im vergangenen Jahr wurden 113 Millionen Pakete an Wienerinnen und Wiener geliefert.



AFRIKA

Weißer Wasserstoff als alternative Energiequelle

Natürlich vorkommenden Wasserstoff als innovative Energiequelle auf dem afrikanischen Kontinent zu erschließen, ist das Ziel des internationalen Forschungsprojekts HyAfrica im Rahmen des LEAP-RE-Programms. Dieser sogenannte »weiße Wasserstoff« entsteht kontinuierlich durch geochemische Reaktionen in bestimmten geologischen Formationen. Er könnte dazu beitragen, die Stromversorgung kleiner bis mittelgroßer Gemeinden zu sichern und Kosten zu verringern. Das Projekt konzentriert sich auf vier Regionen in Marokko, Mosambik, Südafrika und Togo. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler identifizieren lokale Wasserstoffvorkommen und untersuchen, ob und wie diese für autarke Energieanlagen genutzt werden können. Dabei werden sowohl sozio-ökonomische

als auch techno-ökonomische Auswirkungen berücksichtigt, um für die jeweilige Region angepasste Geschäfts- und Handlungsmodelle abzuleiten. Das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE bewertet auf Basis der Daten die Vor- und Nachteile der Wasserstoffnutzung in lokalen Energiesystemen und entwickelt sozial und wirtschaftlich verträgliche Lösungen zur Umsetzung. Diese sollen es den regionalen Behörden ermöglichen, erneuerbaren Wasserstoff in autonome oder bestehende Mini-Netzsysteme einzubinden.



In einigen Regionen Afrikas liefert die Natur kostenlos Wasserstoff



Das Team von PreCare will die Impfraten deutlich erhöhen.



SÜDAFRIKA

Medizinische Vorsorge im Busch

In ländlichen Gebieten Afrikas scheitert der Zugang zu moderner Gesundheitsvorsorge oft an mangelnder Mobilität. Das Projekt PreCare will das ändern: Um Vorsorgeuntersuchungen, Tuberkulose-Tests und Impfungen in unzugänglichen Regionen zu ermöglichen, entwickeln die Fraunhofer-Institute für Schicht- und Oberflächentechnik IST und für Solare Energiesysteme ISE in Kooperation mit der südafrikanischen Universität Stellenbosch eine kostengünstige medizinische Plattform. Sie kann problemlos auf einen Pickup montiert werden und ist so flexibel im Gelände einsetzbar. Der Prototyp der photovoltaisch betriebenen Kabine, die aus einer Wasseraufbereitungsanlage inklusive elektrochemischer On-Board-Desinfektion, medizinischer Ausrüstung, Bluetooth-fähigen Untersuchungsgeräten und satellitenbasiertem Laptop besteht, wird nun in einer einjährigen Pilotphase von einer NGO in Südafrika getestet und an die lokalen Bedürfnisse angepasst. Die mobile Einheit unterstützt den Aufbau von Gesundheitsprogrammen und leistet einen wichtigen Beitrag, die Resilienz der Bevölkerung zu stärken. Für eine spätere Serienfertigung gibt es bereits Kooperationen mit örtlichen Unternehmen, was Arbeitsplätze schafft und eine lokale Wertschöpfung ermöglicht.



EUROPA

Bioelektronische Therapie bei Hirntumoren



Es gibt zahlreiche Hirntumor-Arten. Ihre Behandlung und Prognose sind sehr unterschiedlich.

Implantierte, extern steuerbare Nano-netzwerke sollen zukünftig helfen, Hirntumore gezielt vor Ort zu bekämpfen, und gleichzeitig ihr Wachstum überwachen. An der Technologie arbeitet das Fraunhofer-Institut für Bio-medizinische Technik IBMT gemeinsam

mit akademischen Zentren und Unternehmen aus ganz Europa sowie einer japanischen Universität. Das Implantat wird aus zellbasierten und elektronischen Komponenten entwickelt und kann autonom gesteuert und kontrolliert werden. Es soll die Produktion von speziellen therapeutischen Exosomen anregen – kleine extrazelluläre Partikel umhüllt von einem Fetttropfen, die der Zell-Kommunikation dienen. Eingebaute Sensoren machen es möglich, die Entwicklung des Tumorwachstums kontinuierlich zu überwachen. Mithilfe von ultraschall-basierten Lösungen kann das Implantat zielgerichtet und effizient selbst tief im Gewebe mit Energie versorgt werden.

Großbaustelle Baubranche

Auf dem Bau fehlen die Fachkräfte, gleichzeitig sollen Hunderttausende Wohnungen entstehen. Der Einsatz von Baurobotern könnte eine Lösung sein. Doch wie bereit ist die Branche dafür?

Von Beate Strobel

Um das Jahr 1900 malten sich in Frankreich Illustratoren für eine Postkarten-Serie im Wortsinn die Welt in hundert Jahren aus. Sie entwarfen fahrende Gehwege, fliegende Feuerwehreute, mobile Häuser – und eine Baustelle, auf der ein Kollege Roboter rund um die Uhr schuftet. Und heute? Längst nutzen wir Rolltreppen, bekämpfen Brände von Löschflugzeugen aus – und das Verreisen mit dem Wohnmobil ist ein Megatrend. Nur auf dem Bau hat sich scheinbar nichts getan. Häuser entstehen weiterhin vorwiegend von Menschenhand.

Warum hat sich hier die Robotik – anders als etwa in der Autoproduktion – noch nicht durchgesetzt? Thomas Kirmayr, Geschäftsführer der Fraunhofer-Allianz Bau, kann dafür viele Gründe aufzählen. Etwa die Tatsache, dass kein Bauplatz dem anderen gleicht und zudem jeden Tag anders aussieht. Dass dort nicht unter geschützten Bedingungen, sondern bei Wind und Wetter gearbeitet wird. Dass eine Vielzahl von Gewerken auf der Baustelle tätig sind und es um sehr komplexe Arbeitsabläufe geht. Kirmayr sagt aber auch: »Wenn wir die Produktivität steigern und die Bauleistung erhöhen wollen, führt kein Weg mehr um eine stärkere Technisierung und Automatisierung des Bauwesens herum. Der Bau muss hier jedoch eigene Wege und Lösungen entwickeln und zunächst die Prozesse vereinfachen sowie stärker systematisieren.« Roboter, die einfach das machen, was heute der Mensch macht, könnten nicht die Lösung sein – das »Produkt Bau« müsse ein Stück weit neu gedacht werden. »Vielleicht«, so Kirmayr, »ist das ein Grund, warum diese Vision noch nicht Realität geworden ist.« ▶

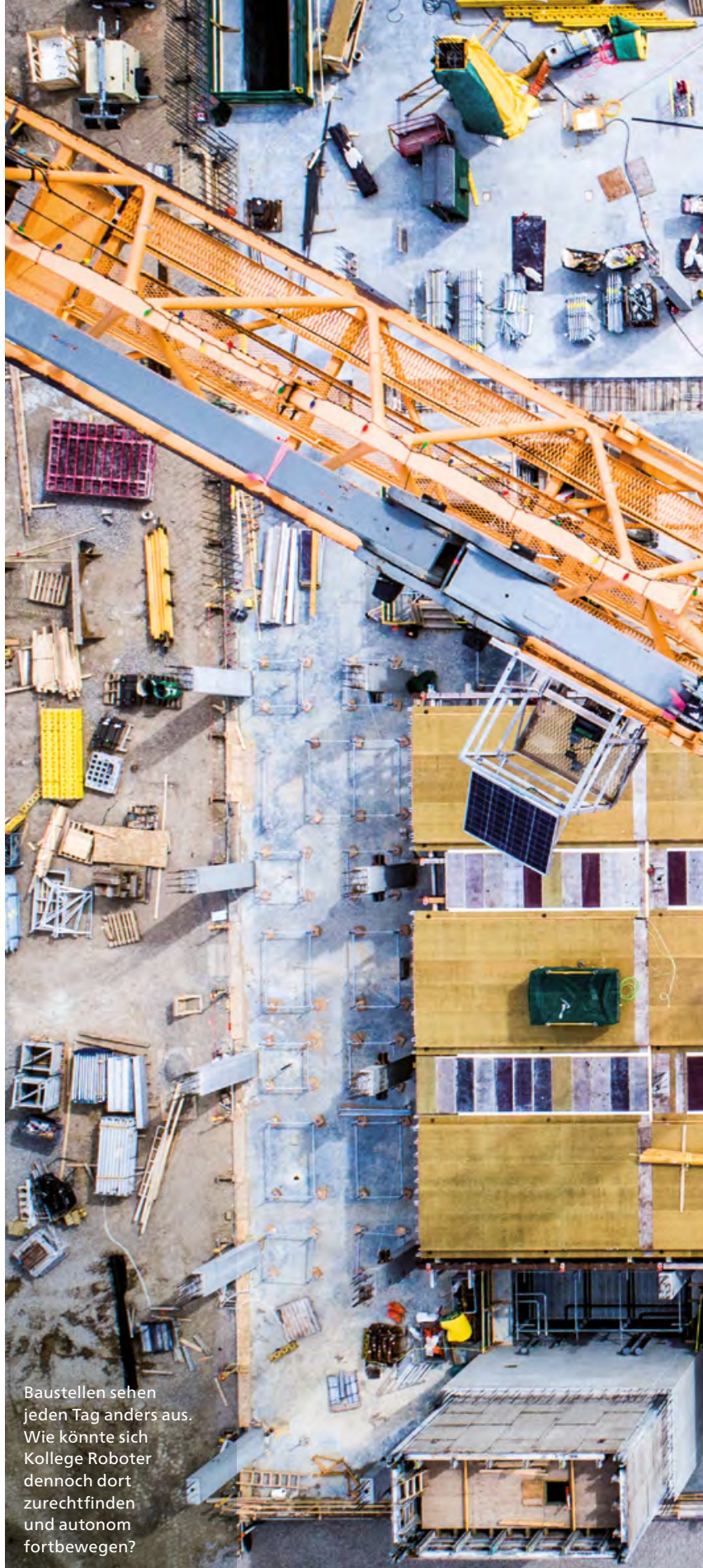


Foto: Arie/AdobeStock

Baustellen sehen jeden Tag anders aus. Wie könnte sich Kollege Roboter dennoch dort zurechtfinden und autonom fortbewegen?



»Wir müssen uns davon lösen, den Bauroboter nur als Ersatz für menschliche Arbeit zu sehen.«

Thomas Kirmayr,
Geschäftsführer
Fraunhofer-Allianz Bau

Die Baubranche steht vor enormen Herausforderungen. Um den Immobilienmarkt zu entlasten und Wohnen wieder bezahlbar zu machen, will die Ampelkoalition deutschlandweit 400 000 neue Wohnungen bauen lassen – jährlich. Zeitgleich muss die Sanierungsquote von aktuell etwa ein auf mindestens zwei bis drei Prozent erhöht werden, um die Klimaziele zu erreichen. Doch die Ressource Mensch ist knapp. Dass offene Stellen nicht mehr besetzt werden können, beklagten 2021 in einer DIHK-Umfrage 66 Prozent der Unternehmen im Bausektor – deutlich mehr als in der Industrie (53 %), dem Handel (45 %) oder im Dienstleistungsbereich (50 %). Mehr bauen und sanieren trotz Fachkräftemangel? »Wir müssen uns dringend intensiv damit beschäftigen, die Produktivität zu steigern, wenn wir mit der begrenzten Arbeitsressource die politisch gesteckten Ziele erreichen wollen«, fordert Kirmayr.

Roboter statt Mensch? Nein, sagen die Forschenden der Fraunhofer-Allianz Bau – ein Zusammenschluss aus 14 Fraunhofer-Instituten – in ihrem Positionspapier »Bauen der Zukunft«, in dem sie Lösungsansätze für eine höhere Produktivität sowie mehr Effizienz am Bau thematisieren. »Roboter und Mensch« muss das Ziel sein, um die Komplexität des Bauens zu beherrschen.

Ein erfolgreicher Veränderungsprozess in diese Richtung kann nur schrittweise erfolgen. Kurzfristig kann und muss die Technik die operativen Prozesse vor allem bei schweren Lasten und schwierigen Arbeiten innerhalb der Gebäude unterstützen. Essenziell für eine stärkere Technisierung ist dabei die Entwicklung von Bausystemen, um die Komplexität zu reduzieren und mehr Vorfertigung zu ermöglichen: Wo machbar, entstehen Gebäudeteile vorab in Hallen und auf Fertigungsstraßen, die Mensch und Maschine wetterunabhängige Arbeitsbedingungen bieten und sich damit besser für den Einsatz von Robotern eignen.

Eine modulare Bauweise führe zur Immobilien-Uniformität, fürchten viele Architekten und Bauherren. Den naheliegenden Vergleich zum Plattenbau will Thomas Kirmayr aber nicht stehen lassen: »System und architektonische Vielfalt sind kein Widerspruch«, betont er. Die von der Fraunhofer-Allianz Bau geforderte Wende zum systemischen Bauen und Sanieren habe nur eine Chance, wenn sie trotz hohem Vorfertigungsgrad auch Individualität ermögliche. Gerade hier sei der Architekt als kreativer Geist gefragt, um Lösungen für eine neue Art des Bauens zu generieren und über ein intelligentes Design aus den vorgegebenen Elementen eine spannende Architektur

zu realisieren. Auch der Weg in eine zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft hängt stark von der Rückbaufähigkeit der Gebäude ab, die ohne System und modulare Bauweise gemindert wird.

In den vergangenen zehn Jahren gab es einen Anstieg in der Baurobotik-Forschung. Es wurden Prototypen für unterschiedliche Anwendungsfelder entwickelt. Erste spezialisierte Roboter schichten Ziegel aufeinander oder übernehmen Schweißaufgaben. Es gibt Hightech-Helfer, die Löcher in die Wand bohren, und Robo-Dogs, die Baustellen ablaufen und vermessen können. Doch es zeigt sich bereits, dass der einfache Transfer menschlicher Arbeitsprozesse kaum einen echten Mehrwert mit sich bringt.

Wie kommt der Roboter an die wichtigen Daten eines Bauprojekts?

Die Entwicklung einer Schnittstelle vom Robot Operating System (ROS) zum Building Information Model (BIM) war Teil eines Demonstrators namens ROSBIM, den Mechatronik-Ingenieur Michael Terzer bei Fraunhofer Italia Research mitentwickelt hat. Im Demonstrator wurde die mobile Plattform HUSKY verwendet, die autonom über Baustellen fahren und schwere Lasten transportieren soll. Die Schnittstelle kann eine technologische Voraussetzung dafür sein, dass Baurobotern die nötigen Umgebungsdaten dynamisch eingespielt werden können.

Basierend auf den Erfahrungen mit HUSKY sowie einem Desinfektionsroboter namens BALTO planen Forschende bei Fraunhofer Italia Research nun als Teil des EU-finanzierten Konsortium-Projekts H2020 Concert (CONfigurable Collaborative Robot Technologies) erste modulare Roboter für die Baustelle. Durch unterschiedliche Aufbauten oder alternativ bestückte Greifarme können sie auf der Baustelle auch von Nicht-Ingenieuren an die Aufgabenstellung angepasst werden. In Frage kommen laut Terzer dafür vorwiegend Jobs, »die stark repetitiv, unergonomisch oder gesundheitsgefährdend für Menschen sind«.

Bei Fraunhofer Italia schaut man aber auch über BIM hinaus in Richtung digitaler Gebäudezwilling, der von der Planung über sämtliche Bauprozesse und Wartung bis hin zum Abriss den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie abbildet. »Damit ein digitales System Baurobotik unterstützt, muss es nicht nur die sichere und autonome Navigation von Robotern auf dem Bauplatz sicherstellen, sondern auch logistische Fragen beantworten«, findet Dr. Dietmar Siegele, Leiter der Abteilung Process Engineering in Construction: Welches Material benötigt der Roboter gerade? Wie viel ist davon vorhanden und wie bekommt er es? Wann muss was nachgeliefert werden? »Wenn ich

66 %

der Unternehmen im Bausektor

klagen darüber, dass sie offene Stellen nicht mehr besetzen können.



Mit HUSKY A200 erforscht Michael Terzer bei Fraunhofer Italia Research, wie mobile Plattformen künftig autonom über Baustellen fahren und beispielsweise Lasten transportieren können.

den Roboter manuell durch den Raum begleiten, mit dem Smartphone programmieren und selbst mit Material versorgen muss, dann ist er keine echte Erleichterung und rechnet sich wirtschaftlich nicht.«

Kollege Roboter: Cobots – Roboter, die dem Menschen assistieren – könnten eine Art Zwischenschritt auf dem Weg zur vollautomatisierten Baustelle sein, glaubt Terzer. Hemmungen im Umgang mit den High-tech-Geräten werden abgebaut, der Nutzen schiebt sich in den Vordergrund. Auch Exoskelette könnten Ähnliches bewirken. Lange galten die äußeren Stützstrukturen in der Branche als eine Spielerei, doch vor dem Hintergrund eines immer späteren Renteneintritts freuen sich viele Bauarbeiter, wenn ihre Tätigkeiten rücken- und gelenkschonender werden.

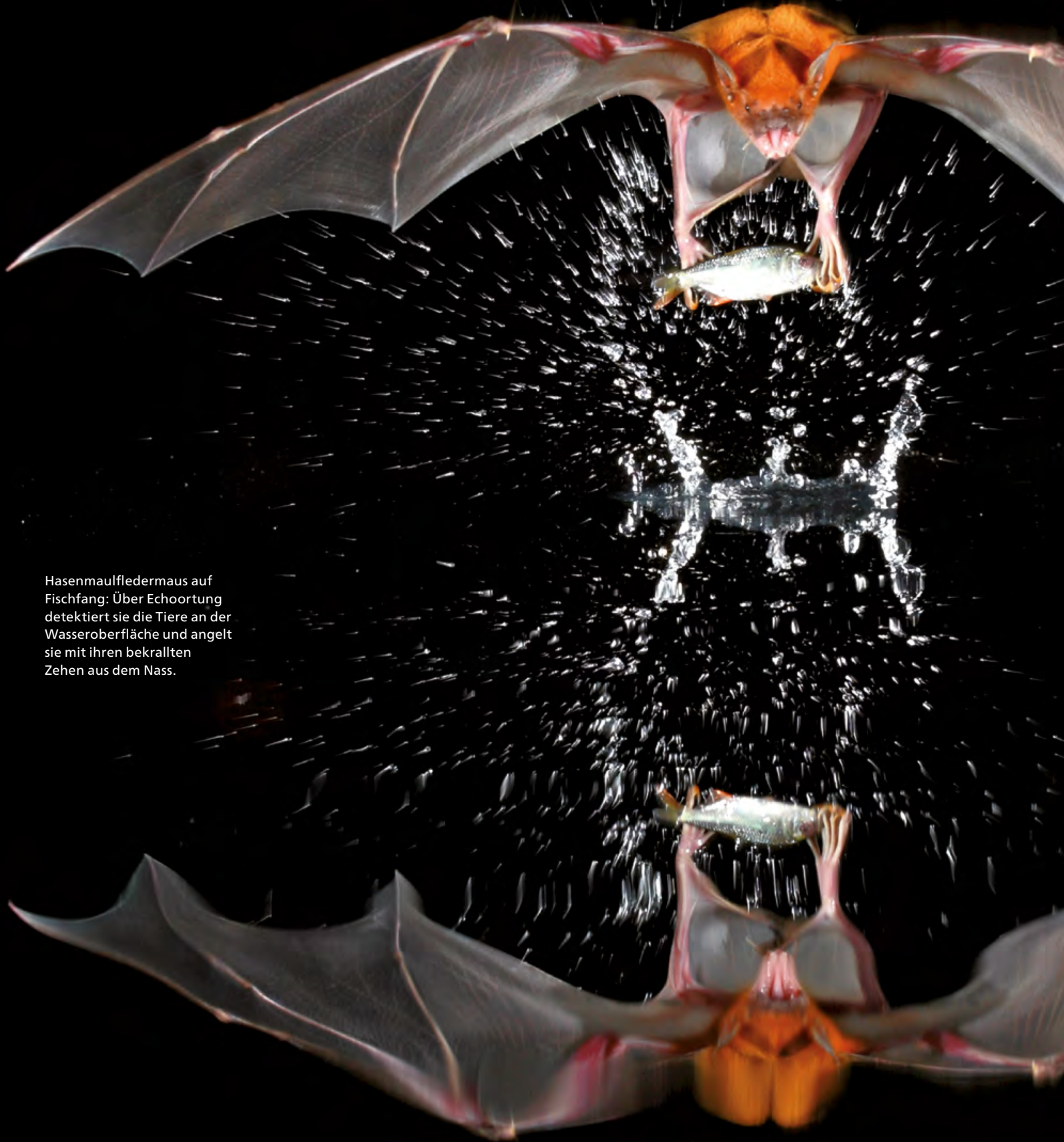
Bei Sanierungen und dem Umbau bestehender Gebäude sieht Dietmar Siegele von Fraunhofer Italia hingegen Cobots nicht als Zwischen-, sondern als eine sehr gute finale Lösung. »Der Neubau wird aus Nachhaltigkeitsgründen in den nächsten Jahren rasant an Bedeutung verlieren«, prognostiziert er. Renovierungen, Ausbau, Umwidmung, Nachverdichtung

oder Aufstockung sind allerdings stets individuelle Lösungen mit geringem Automatisierungspotenzial.

»Wir müssen uns davon lösen, den Bauroboter immer nur als Ersatz für die menschliche Arbeit zu sehen«, erläutert Thomas Kirmayr. »Wir müssen den gesamten Bau- und Designprozess eines Gebäudes neu denken, wenn wir wirklich spürbar mehr Produktivität erreichen sowie klimaneutral und rückbaufähig werden wollen.« Der Geschäftsführer der Fraunhofer-Allianz Bau glaubt deshalb mehr an eine Revolution der Branche als an eine Transformation. Seine Prognose: Innerhalb des nächsten Jahrzehnts werden wir in vielen Bereichen eine veränderte Baubranche vorfinden – hinsichtlich der verwendeten Materialien und der Kreislaufwirtschaft, aber auch bezüglich Bauprodukten und Automatisierungsgrad. »Entgegen vieler Meinungen glauben wir daran, dass gerade die sehr stark fragmentierte und mittelständisch geprägte Baubranche kein Hindernis, sondern aufgrund ihrer Agilität ein Zukunftsmodell für diesen Wandel darstellt.« Ein weiteres Jahrhundert verstreichen zu lassen, ohne dass sich etwas grundlegend verändert? »Das können wir uns einfach nicht mehr leisten.« ■

»Der Neubau wird aus Nachhaltigkeitsgründen in den nächsten Jahren rasant an Bedeutung verlieren.«

Dr. Dietmar Siegele,
Fraunhofer Italia



Hasenmaulfledermaus auf
Fischfang: Über Echoortung
detektiert sie die Tiere an der
Wasseroberfläche und angelt
sie mit ihren bekrallten
Zehen aus dem Nass.

Foto & Fraunhofer

Es wie die Flattertiere machen

Der Blick in die Natur inspiriert nicht nur Lyriker, sondern oft auch die Forschungswelt: Für selbstreinigende Oberflächen etwa guckte sich die Wissenschaft Details bei der Blattstruktur der Indischen Lotusblume ab, für die Entwicklung des Klettverschlusses stand die Klettfrucht Pate. »Bionik« heißt die Disziplin, in der es um Erkenntnistransfer aus der Tier- und Pflanzenwelt auf technische Materialien und Anwendungen geht.

Für das Projekt PaintVisco holten sich Forschende am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA die entscheidende Anregung von der Fledermaus. Um in völliger Dunkelheit Beute oder Hindernisse zu orten, senden die Flattertiere kurze Ultraschallrufe in die Nacht hinaus. Jeder Ruf besteht aus niedrigen wie hohen Schallfrequenzen, die fließend ineinander übergehen.

Komplexes Fließverhalten verlaufender Lackfilme präzise simulieren zu können: Das war das Ziel von PaintVisco. Die Messdaten hierfür liefert in der Regel ein Rotationsrheometer: Durch eine aufgesetzte Scheibe wird eine flüssige Lackprobe in Drehung oder Schwingung versetzt und dann gemessen, welche Kraft für die Ver-

formung des Lacks benötigt wird. »Bisherige Geräte verhindern jedoch das Abdampfen der Lösungsmittel, die Ergebnisse sind daher für die Lackindustrie nur eingeschränkt aussagekräftig«, sagt Dr. Fabian Seeler vom Fraunhofer IPA. Außerdem werde meist nur mit einer einzigen Schwingungsfrequenz gearbeitet, was für virtuelle Verlaufsprognosen nicht ausreicht.

Das neue PaintVisco-Rheometer hingegen arbeitet – analog zur Fledermaus – mit ineinander übergehenden Frequenzen, sodass die Veränderung der viskoelastischen Lackeigenschaften beim Abbinden sehr viel genauer erfasst werden kann. Zudem wird der Lack nicht mehr durch eine geschlossene Scheibe, sondern durch mehrere ineinanderliegende Ringe verformt. Das Lösemittel kann so durch den Spalt zwischen den Ringen verdampfen.

»Unsere Messungen haben gezeigt, dass sich mit der multifrequenten Messtechnik die Veränderung der viskoelastischen Lackeigenschaften über den gesamten Lackierprozess ermitteln lässt«, bilanziert Seeler. Für die Industrie bedeutet das: verlässliche Simulationsergebnisse in kürzester Zeit, was die Kosten der Entwicklung neuer Lacke und Lackierprozesse erfreulich senkt.



Freund oder Feind?
Eine neue Technologie
soll Flugobjekte
binnen Millisekunden
identifizieren.

Gefahr im Anflug?

Fraunhofer-Forschende haben eine Methode entwickelt, mit der Drohnen in Echtzeit und in 3D erkannt und verfolgt werden können. Die Anordnung der Antennen und ein innovatives Radarsystem machen die Technologie weltweit einzigartig.

Von Mehmet Toprak

Tag für Tag belegen Bilder aus der Ukraine, wie gefährlich Drohnen sein können: Sie zerstören kritische Infrastrukturen, stürzen die Bevölkerung in Dunkelheit und Kälte. Um zivile Gefahren etwa bei Großveranstaltungen abzuwenden, arbeitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF mit seiner 3D-Echtzeit-Millimeterwellensensorik an neuen Wegen, Drohnen schnell zu erkennen. Herzstück der Technologie ist eine hochauflösende Millimeterwellenkamera, die im Frequenzbereich um 94 Gigahertz 3D-Radardbilder erzeugt. Den Bereich im W-Band (75 bis 110 Gigahertz) haben die Forschenden gewählt, da diese Frequenzen auch Regen, Schnee, Nebel, Staub und Sandwirbel durchdringen. Unterstützt und finanziert wird die Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Bundesverteidigungsministerium.

Mit klugem Einsparen mehr erreichen

3D-Radarmessungen entstehen grundsätzlich, wenn mehrere Sende- und Empfangsantennen zweidimensional angeordnet sind und dadurch neben Abstand und Geschwindigkeit von Objekten auch die Raumwinkel (Azimut, Elevation) bestimmt werden können. Bei einem zu detektierenden Objekt empfangen die Antennen die reflektierten Wellen; aus den winzigen Laufzeitunterschieden berechnet das System die räumliche Lage des Objekts. Das innovative Radarsystem der Fraunhofer-Forschenden aus Freiburg verzichtet jedoch auf die zweite Antennendimension. Das ermöglicht eine kompaktere Bauweise und benötigt weniger Ressourcen. Die Einsparung wird durch

die hohe Bandbreite der Halbleitertechnologie am Fraunhofer IAF realisiert. Frequenzsteuerbare Antennen erfassen die zweite Raumdimension. »Indem die Abstrahlrichtungen der Antennen mit der Frequenz schwenken, bekommen wir beide Winkel aus nur einer Antennenzeile, mit denen wir die Objekte detektieren«, erklärt Christian Zech, Forscher am Fraunhofer IAF. »So entsteht eine dreidimensionale Messung der Flugbahn von Objekten.«

Mehrere hundert Meter Reichweite

Im Radar des Fraunhofer IAF sind jeweils acht Sende- und Empfangsantennen nebeneinander angeordnet. Diese hybride Apertur in Kombination mit einem digitalen Modulationsverfahren im Backend ist weltweit einzigartig und bietet einen kompakten, resilienten und innovativen Systemansatz. Die Messung des Reflexionsverhaltens des Flugkörpers und seines Flugverhaltens erlaubt durch den Abgleich mit einer Datenbank die Identifikation des Drohrentyps.

Der komplette Vorgang vom Aussenden der Radarwelle bis zur Identifikation eines oder mehrerer Flugobjekte ist in Millisekunden abgeschlossen – und das selbst in einer Entfernung von mehreren hundert Metern. Ausgestattet mit diesen Daten könnte ein Abwehrsystem extrem schnell reagieren und gefährliche Drohnen durch Störstrahlung vom Kurs abbringen oder unschädlich machen. Mit dem am Fraunhofer IAF entwickelten Radarsystem lassen sich so nicht nur Großveranstaltungen (beispielsweise in Sportstadien), sondern auch Kraftwerke, Staudämme oder strategisch wichtige Punkte von Gas- und Stromnetzen vor potenziellen Drohnenattacken schützen. ■

Der besondere Frequenzbereich der **hochauflösenden Millimeterwellenkamera** ermöglicht es, auch Regen, Schnee, Nebel, Staub und Sandwirbel zu durchdringen.

Dolmetscher im Ohr

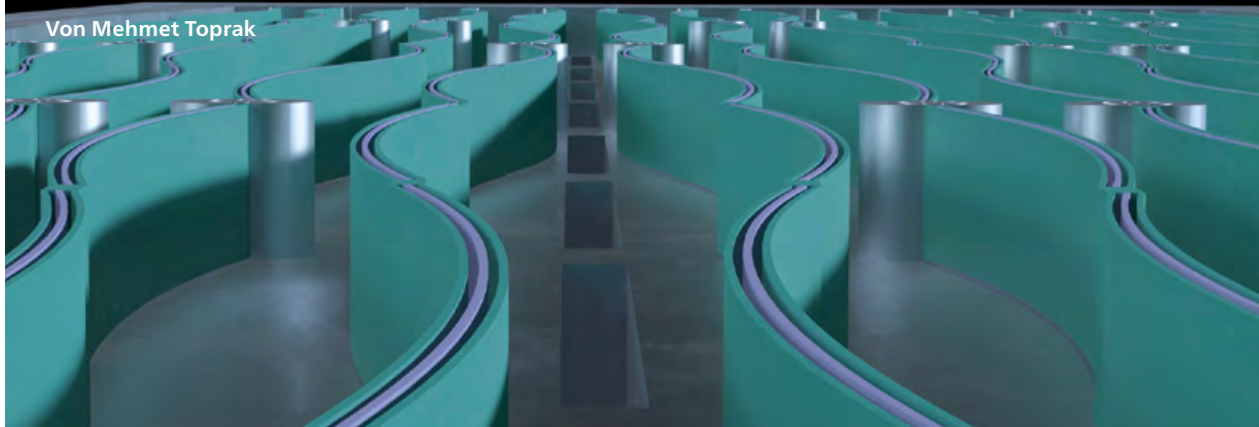
Weniger Stromverbrauch, ganz neue Funktionen: Die nächste Generation der In-Ear-Kopfhörer kann dank Biegebalken und elektrostatischen Aktoren viel mehr als nur Musik.

Von Mehmet Toprak

Hier spielt die Musik:

120

Biegebalken, knapp einen Millimeter lang und 70 Mikrometer breit.



Ein kabelloser In-Ear-Kopfhörer, der als Mini-PC neben der Musikwiedergabe weitere Funktionen übernimmt, beispielsweise als Pulsmesser oder Temperatursensor? In zwei, drei Jahren könnten solche Kopfhörer in den Handel kommen. Die Technik dafür haben Dr. Bert Kaiser und sein Team am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden entwickelt. Der Geschäftsfeldleiter für Monolithisch integrierte Aktor- und Sensorsysteme setzt nicht auf die in der Lautsprecher-technik üblichen Membranen, sondern auf winzige Biegebalken oder -lamellen.

»Die Biegebalken werden durch elektrostatische Kräfte in Schwingung versetzt. Das Ausgangsmaterial ist einzig hochdotiertes, sprich besonders leitfähiges Silizium. Je höher der Ton, desto schneller schwingt der Balken«, erklärt Kaiser. Bei einer Frequenz von 3000 Hertz, was in etwa der Tonhöhe der menschlichen Stimme entspricht, schwingt der Balken also 3000 Mal pro Sekunde. Mit dieser Frequenz bewegt sich dann auch die Luft und erzeugt den Schall. 120 solcher knapp einen Millimeter langen und 70 Mikrometer breiten Biegebalken sind im Inneren eines MEMS-Lautsprechers (Mikro-elektro-mechanische Systeme) auf einer Fläche von etwa zehn Quadratmillimetern untergebracht. Das Grundprinzip

dieses kleinen technischen Wunderwerks hatten Kaiser und sein Team schon vor Jahren entwickelt. Daraus entstand 2019 die erfolgreiche Fraunhofer-Ausgründung Arioso Systems, die 2022 von der Bosch Sensortec GmbH übernommen wurde.

Mit dem aktuellen Projekt macht die Schallwandler-Technologie aus dem Fraunhofer-Labor nun einen weiteren Sprung nach vorn. Neu ist beispielsweise der symmetrische Aufbau der Biegebalken. Daraus ergeben sich mehrere Vorteile. Zum einen erweitert sich der darstellbare Frequenzbereich des Mini-Lautsprechers. Der liegt jetzt zwischen 10 Hertz und 10 Kilohertz. Das kommt nicht nur der Musikwiedergabe, sondern auch dem Noise-Cancelling zugute, da die MEMS-Lautsprecher beim Erzeugen des Gegenschalls einen weiteren Frequenzbereich abdecken und damit auch Umgebungsgeräusche mit besonders tiefen oder besonders hohen Frequenzen auslöschen.

Wichtig für Musikhörer ist auch der Klirrfaktor. Der gibt den Anteil der elektrischen Energie an, der außerhalb des vom jeweiligen Musiksignal angesteuerten Frequenzbereichs liegt. Je niedriger der Klirrfaktor, desto unverzerrter der Klang. Die MEMS-Lautsprecher aus dem Fraunhofer IPMS erreichen mittlerweile einen Klirrfaktor von nur 1,1 Prozent. Auf diese

Weise entsteht ein besonders ausgewogener, neutraler und sauberer Klang, auch bei höheren Lautstärken.

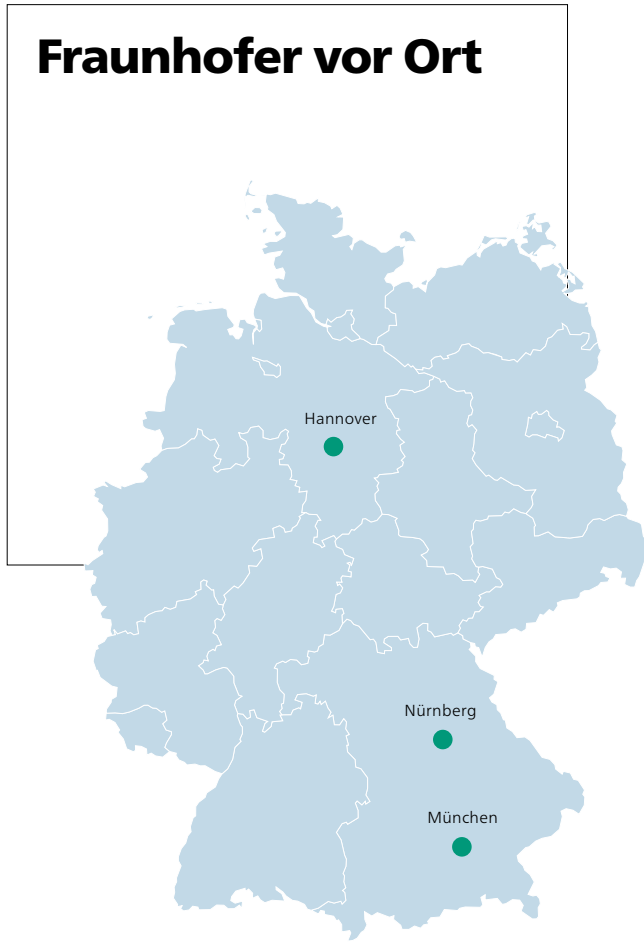
Ein weiterer Vorteil ist die verbesserte Effizienz. Die Expertinnen und Experten des Fraunhofer-Instituts in Dresden konnten das erforderliche Spannungsniveau von 45 auf 15 Volt senken. Dementsprechend steigt die Akkulaufzeit bei gleicher Lautstärke um bis zu 30 Prozent. Der beim Musikhören eingesparte Strom kann für weitere Funktionen genutzt werden. Problemlos möglich wäre die Integration von Pulsmesser, Blutsauerstoff- und Temperatursensor, wie man sie heute in Smartwatches findet. Die Verarbeitung der Daten könnte bereits im In-Ear-Kopfhörer stattfinden. Fachleute sprechen hier von Hearables.

»In Kombination mit einem integrierten Mikrofon und einem via Bluetooth angebundenen Smartphone wäre es auch denkbar, Sprachtechnologien aus den Bereichen Internet of Voice oder Spracherkennung einzubauen«, prognostiziert Kaiser. »Sogar ein Simultandolmetscher-Dienst ließe sich realisieren.« ■

Hier geht's zum Podcast:



Fraunhofer vor Ort



Nürnberg
14.–16.03.2023
Embedded World
 Internationale Fachmesse und Konferenz für Embedded-Systeme

München
17.–22.04.2023
BAU
 Weltleitmesse für Architektur, Materialien, Systeme

Hannover
17.–21.04.2023
Hannover Messe
Weltleitmesse der Industrie
 Hochtechnologie und innovative Lösungen zur Bewältigung der globalen industriellen Herausforderungen

München
9.–12.05.2023
Transport und Logistik
 Weltleitmesse für Logistik, Mobilität, IT und Supply Chain Management

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>



»Große Datensätze aus klinischen Studien und der medizinischen Versorgung bergen wertvolles Wissen für die Diagnose sowie Therapie vieler Krankheiten. Die Detektion entscheidender Zusammenhänge setzt aber eine enge interdisziplinäre Verknüpfung von Medizin und Data Science voraus.«

Sina Mackay, Data Scientist
am Fraunhofer IAIS

