



Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

**Deepfake &
Desinformation**
So hilft Forschung
gegen Manipulation

Wasser marsch!

Wie wir mit dem
Überlebensmittel
besser wirtschaften

**Gründen mit
Fraunhofer**
Vom Ein-Mann-Unternehmen
zum Erfolg mit Laser-Technologie

**»Wir nehmen die
Lage ernst!«**
Bundesinnenministerin Nancy
Faeser im Interview

Dr.-Ing. Marius Mohr,
Fraunhofer IGB



Im Auftrag der Zukunft

Der Fraunhofer-Podcast

Der Fraunhofer-Podcast im neuen Format vermittelt Wissen aus der Welt der angewandten Forschung. Fraunhofer-Forschende geben Einblicke in **aktuelle Forschungsfragen** und stellen **praktische Lösungen** für Wirtschaft und Gesellschaft vor. **Unterhaltsam, lebendig, anspruchsvoll.** Das Format ist ab **16. Juli jeden zweiten Dienstag** auf allen gängigen Streamingplattformen abrufbar.



Hier geht's zum Fraunhofer-Podcast:
www.fraunhofer.de/podcast

Risiken minimieren, Chancen maximieren

Von Prof. Holger Hanselka

Die Meldungen überschlagen sich tagesaktuell in den Medien. Künstliche Intelligenz (KI) schafft völlig neue Möglichkeiten der Manipulation von Massen, alarmierend gerade in Zeiten, in denen entscheidende Wahlen anstehen – in Deutschland, in den USA. Auch Bundesinnenministerin Nancy Faeser warnt vor den Herausforderungen. »Die Täter werden immer professioneller«, sagt sie im Interview mit dem Fraunhofer-Magazin (s. Seite 46). Das ist der politische Aspekt. Und der wirtschaftliche? KI kostet Arbeitsplätze. KI schafft Arbeitsplätze. KI revolutioniert unsere Arbeitswelt. Alles scheint möglich. Und wie immer, wenn so vieles sich zu verändern scheint, disruptiv und radikal, dann wachsen die Hoffnungen und ebenso die Ängste.

Bei all den sicher auch berechtigten Sorgen angesichts der Risiken: Für mich persönlich überwiegen ganz klar die Chancen. Allein schon KI-gestützte Robotik wird die Wettbewerbsfähigkeit unseres Industriestandortes steigern. KI wird im Kampf gegen Krebs ganz neue Potenziale erschließen. KI wird die Effizienz unseres Energiesystems steigern – und damit auch die Energiewende befördern. Die DZ Bank hat gerade die Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage im Management von 1000 mittelständischen Unternehmen veröffentlicht. Danach versprechen sich die Geschäftsführerinnen und Geschäftsführer durch den Einsatz von generativer KI Hilfe bei der Informationsbeschaffung (30 Prozent) und Kreativität (24 Prozent). Und bei einem ihrer allergrößten Probleme: Fast 60 Prozent der Befragten geben an, dass generative KI ihnen bei der Bewältigung bürokratischer Lasten helfen werde.

Auch wir bei Fraunhofer beziehen Stellung. In unserem jüngsten Positionspapier zu generativer KI betonen wir, wie entscheidend eine schnelle, bürokratiearme und vorausschauende Umsetzung des EU Artificial Intelligence Acts sein wird. Entscheidend wichtig wird es auch werden, Innovationspartnerschaften zwischen der Industrie, dem Mittelstand und der angewandten Forschung zu fördern. Nur so werden wir generative KI mit dem gebotenen Tempo und der nötigen Breite in die industrielle Anwendung bringen. Eine aktuelle Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) in Köln geht davon aus, dass sich durch generative KI-Anwendungen für die Volkswirtschaft in

Editorial



Prof. Holger
Hanselka

Deutschland 330 Milliarden Euro Wertschöpfung zusätzlich generieren lassen. Wir sehen: Es wird sich lohnen, Ängste zu überwinden. Wir werden profitieren, wenn wir die Risiken meistern. Wir werden die Chance gewinnen, die technologische Souveränität des Industriestandortes Deutschland im europäischen Verbund langfristig zu stärken.

Ein nützlicher Partner auf diesem Weg wird die Fraunhofer-Gesellschaft sein, gerade auch für den Mittelstand. Fraunhofer ist sehr früh in die Entwicklung generativer KI eingestiegen und hat mehr als 50 Millionen Euro an Eigenkapital in den Kompetenzaufbau investiert. Über ihre Institute ist die Fraunhofer-Gesellschaft an der Entwicklung großer souveräner und anwendungsorientierter KI-Modelle wie OpenGPT-X und EuroLingua beteiligt. Nur als ein Beispiel von vielen: Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT engagiert sich in mehreren Projekten mit der Industrie bei der Einführung von KI in der betrieblichen Praxis. Solche Verbindungen in der Anwendung, solche Formen der Zusammenarbeit helfen Unternehmen, die Risiken zu minimieren und die Chancen zu maximieren. Fraunhofer mit seiner Forschungserfahrung steht dabei gerne zur Seite. Lassen Sie uns gemeinsam – Industrie, Mittelstand, Forschung – weiter an innovativen Lösungen arbeiten. Für den Wohlstand. Für die Gesellschaft. Für unsere Zukunft.

Ihr

Prof. Holger Hanselka
Präsident der
Fraunhofer-Gesellschaft

Zum Positionspapier
»Generative KI«



Inhalt



10 Titel Mit Wasser wirtschaften

Forschende wie Marc Beckett vom Fraunhofer IGB suchen Wege, um das kostbare Nass besser zu nutzen.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

10 Über Wasser

Wie lässt sich die Wasserversorgung auch in klimatisch schwierigen Zeiten sichern?

22 3x3 Fragen: Wasser

Fraunhofer-Expertinnen und -Experten über den Umgang mit der Ressource

24 Ammoniak – die Energie der Zukunft?

Als klimaneutraler Energieträger ist das Gas unter anderem für die Schifffahrt oder die Stahlindustrie interessant



46 »Wir nehmen die Lage ernst!«

Bundesinnenministerin Nancy Faeser über KI und den Kampf gegen Cyberattacken.



38 Desinformation und Cybersicherheit Alles Fake!?

Nie war es so einfach wie heute, Abraham Lincoln die eigenen Gesichtszüge zu verleihen. Prof. Martin Steinebach vom Fraunhofer SIT testet KI im Selbstversuch – und erklärt, wie sie sich entlarven lässt.

38 Alles Fake!?

Täuschend echte Scheinwelten entstehen heute auf Knopfdruck – KI macht's möglich. Doch sie kann auch helfen, gefährliche Manipulationen aufzudecken.

32 Schilde hoch!

Cyberangriffe in Echtzeit erkennen und abwehren: In der NATO-Übung »Locked Shields« wird das seit 2010 jährlich trainiert. Mit dabei: ein Team des Fraunhofer FKIE.

46 »Wir werden uns keinesfalls einschüchtern lassen!«

Im Interview spricht Bundesinnenministerin Nancy Faeser über Cybercrime und den Beitrag der Forschung zu mehr Sicherheit.

27 Die Luft ist rein

Geflügelställe mit UV-Licht keimfrei halten

28 Stimme aus der Wirtschaft

Oliver Zipse, Vorstandsvorsitzender der BMW AG

30 Bakterien unschädlich machen – Resistenzen verhindern

Parodontitis bekämpfen ganz ohne Antibiotika

35 Staffellauf des Wissens, Folge 12

Umbruch und Aufbruch: Wie wird KI unsere Welt verändern, Herr Prof. Hanselka?

50 Seltene Krankheiten schneller erkennen

Wie KI den Leidensweg von Betroffenen verkürzen kann

52 Autos (fast) ohne Neumaterial

Ein Forschungsteam arbeitet am recycelbaren E-Auto

54 Auftanken während der Pause

Schnelllade-Infrastruktur für Elektro-Lkw im Fernverkehr

62 High five!

Der Gecko hat Superkräfte – wie die Forschung von der Schuppenechse lernt.



60 Es werde Licht!

Wie lässt sich mehr Sonne ins Büro holen?

56 Schlauer Spion

Smarte Sensoren geben Auskunft über den Zustand von Materialien

58 Fraunhofer international**60 Es werde Licht!**

Das Tageslicht in Innenräumen besser nutzen, ohne dass die Sonne blendet

62 Foto & Fraunhofer

Haften wie der Gecko

64 Erfolgreich mit Lasertechnologie

Eine Fraunhofer-Ausgründung unterstützt Firmen seit 25 Jahren erfolgreich beim Laserhärten

66 Fit für das 21. Jahrhundert

Wie gut sind Schülerinnen und Schüler für die Arbeitswelt von morgen gerüstet?

68 »Darm auf 16 Beinen«

Die Raupe des Tabakswärmers hilft, Morbus Crohn und andere Erkrankungen zu erforschen

70 Glas heilt Brüche

Wie sich Frakturen schneller und zuverlässiger kurieren lassen



30 Zahnfleischbluten ade!

Mit einer neuen Paste Parodontitis effektiv vorbeugen

72 RoboKeeper – der schnellste Torwart der Welt

Ein Roboter aus dem Fraunhofer IML macht Manuel Neuer Konkurrenz

74 Leinen los!

Winzige U-Boote sollen in unserem Körper Medikamente direkt an ihren Einsatzort bringen

76 Forschungspreise

Die Preisträger, die Projekte: Vier wegweisende Entwicklungen

84 Verräterische Spuren

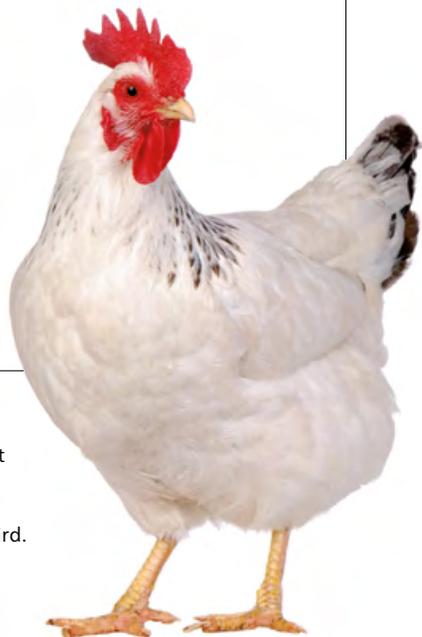
Wie lassen sich Hyperschallwaffen präzise erfassen und verfolgen?

87 Fraunhofer vor Ort

Nur 8 Prozent der deutschen Flüsse und Bäche sind gesund, ermittelte das Umweltbundesamt 2021. Bis 2027 sollen alle Gewässer in einem guten ökologischen Zustand sein, bestimmt die europäische Wasserrahmenrichtlinie. Von diesem Ziel sind wir laut aktuellem Umweltmonitor noch weit entfernt.

8%

Kurz gemeldet



Die Forschenden am Fraunhofer IGB setzen auf Hühnerfedern statt Erdöl, das heute meist für die Produktion von Klebstoffen genutzt wird.

Klebstoffe aus Hühnerfedern

Nachhaltige Klebstoffe aus der leistungsfähigen Protein-Verbindung Keratin, die unter anderem in Hühnerfedern enthalten ist, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB entwickelt. Das Biopolymer ist aufgrund seiner Struktur und seiner ausgeprägten Fähigkeit, sich zu vernetzen, prädestiniert für die Herstellung von Bindemitteln aller Art.

Federn fallen bei der Geflügelfleischerherstellung in großen Mengen als Abfälle an. Sie werden bisher vernichtet oder in Tierfutter gemischt. Im Projekt KERAbond hat das Forschungsteam zusammen mit der Firma Henkel ein Verfahren entwickelt, das die Federn für die Klebstoffherstellung nutzbar macht. Dafür werden sie zunächst sterilisiert, gewaschen und mechanisch zerkleinert. Anschließend werden die langkettigen Keratine mithilfe eines enzymatischen Prozesses gespalten. Im Ergebnis soll eine Plattform-Chemikalie entstehen, die als Ausgangsstoff für die Weiterentwicklung speziell formulierter Klebstoffe dient. Parameter wie Aushärtezeit, Elastizität, Temperaturverhalten oder Festigkeit des gewünschten Spezialklebers könnten dann individuell festgelegt werden. ■

Resilienz einfach testen und verbessern

Wie resilient bin ich? Auf einer neuen Webplattform können Interessierte jetzt ihre psychische Widerstandskraft auf die Probe stellen und trainieren, um in Zukunft für einschneidende Ereignisse und herausfordernde Lebensumstände besser gewappnet zu sein. Entwickelt wurde die Webanwendung »resiLIR« von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Resilienzforschung LIR. Unter www.resilir.eu ist die Webanwendung frei zugänglich.

Dr. Alexander Scherrer, stellvertretender Leiter der Abteilung »Optimierung in den Life Sciences«: »Unsere KI-Methoden sorgen dafür, dass die Resilienz-Daten und bisherigen Trainingsfortschritte analysiert werden und die Webplattform dann individuell passende Trainingsinhalte zusammenstellt.« Als Basis dienen der fachliche Input der Psychologinnen und Psychologen

des Leibniz-Instituts LIR und der aktuelle Stand der Resilienzforschung in digital aufbereiteter Form. »resiLIR« ist als Lernspiel konzipiert, das auch komplexe Methodenlösungen und anspruchsvolle psychoedukative Inhalte niederschwellig bereitstellt. ■

Wer eine hohe psychische Widerstandskraft hat, kann besser mit Stress und Schicksalsschlägen umgehen.





Die Zahl der pflegebedürftigen Menschen wird sich bis 2055 um rund 37 Prozent erhöhen, prognostiziert das Statistische Bundesamt.

Künstliche Intelligenz unterstützt bei Langzeitpflege

Ein wissens- und datengetriebenes Assistenzsystem für die professionelle Prozessgestaltung in der Langzeitpflege entwickelt und erprobt das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM gemeinsam mit Partnern im Projekt ViKI pro. Das KI-basierte System erlaubt Expertinnen und Experten, individuelle Pflegebedürfnisse zu erheben und geeignete Maßnahmen auf Grundlage von digitalisiertem Fachwissen zu planen. Die Dokumentation der durchgeführten Pflegemaßnahmen in der Webanwendung wird auch für die Gewinnung von Erfahrungswissen genutzt, das für zukünftige Planungen verwendet werden kann.

Wichtig ist eine gute Datenbasis. Daher wird jeder Pflegefall mit umfangreicher und detaillierter Anamnese inklusive Risikomatrix erfasst, wobei zahlreiche Faktoren wie Bettlägerigkeit, Selbstversorgung, Übergewicht, Depression etc. berücksichtigt werden. Das System schlägt davon ausgehend mittels Künstlicher Intelligenz geeignete Pflegemaßnahmen vor, unter denen die Pflegeplanerinnen und -planer aufgrund ihrer Erfahrungen auswählen. ViKI pro soll helfen, die Versorgungsqualität in der stationären Pflege zu verbessern und knappe Ressourcen zu schonen. ■

Mehr Sicherheit im Straßenverkehr

Einen Blinker, der nicht nur am Fahrzeug selbst, sondern auch auf der Straße die gewünschte Fahrtrichtung anzeigt, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF entwickelt. Dafür projiziert er eine dynamische Sequenz von Winkelzeichen mit einer Beleuchtungsstärke von mehr als 7000 Lux auf die Fahrbahn – und ermöglicht so auch bei Tageslicht eine gute Sichtbarkeit.

Das zweiseitige Mikrolinsenarray (MLA) besteht aus einer Anordnung von pfeilförmigen Mikrolinsen (Lenslets) auf der Licht-Eingangsseite und kleineren quadratischen auf der Ausgangsseite. Durch die Beleuchtung des MLA unter unterschiedlichen Einfallswinkeln werden Lichtpfade zwischen bestimmten Kombinationen von Eingangs- und Ausgangslenslets gelenkt. Der Designansatz ermöglicht es, mit einem einzigen Projektor-System Winkelzeichen an unterschiedlichen Positionen zu erzeugen, was die Montage vereinfacht sowie Kosten und Platzbedarf reduziert.

Hergestellt werden die zweiseitigen Mikrooptikarrays mithilfe von Grautonlithographie. Anschließend werden sie als Polymer-auf-Glas Tandemarrays repliziert. Die Kombination von Polymer und Glas ermöglicht dabei eine präzise Kontrolle der optischen Eigenschaften, weil das Polymermaterial gezielt auf die Glasoberfläche aufgetragen und geformt werden kann. ■



Der projizierende Blinker ist nur 35 x 35 x 55 Millimeter groß, hat aber eine hohe Lichtintensität.

Orientierung im Begriffsdschungel

Wie unterscheiden sich Wiederverwendung und Recycling? Was versteht man unter Wiedereinsatzquoten? Antworten auf diese nicht zuletzt durch die PPWR (Packaging & Packaging Waste Regulation der EU) aufgeworfenen Fragen liefert das neue »Mehrweg-Glossar«. Erstellt wurde es von den Fraunhofer-Instituten für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und für Materialfluss und Logistik IML im Auftrag der Stiftung Initiative Mehrweg. Es soll Klarheit in die oft nicht trennscharfen Begrifflichkeiten rund um Wiederverwendung und Kreislaufführung von Verpackungen bringen und die Kommunikation zwischen Wissenschaft, Poli-

tik, Unternehmen sowie Verbraucherinnen und Verbrauchern erleichtern.

So besteht beispielsweise große Unsicherheit bei den Begriffen Wiederverwendung und Recycling. Manchmal werden sie als konkurrierende Verfahren angesehen, manchmal fungiert Recycling als Oberbegriff, manchmal Wiederverwendung. Mitautor Jürgen Bertling vom Fraunhofer UMSICHT stellt klar: »Wir betrachten die Wiederverwendung als zerstörungsfreie Kreislaufführung. Das Objekt und seine Form bleiben also erhalten, während das Recycling einen zerstörenden Aufbereitungsprozess beschreibt, bei dem es vor allem um den Stofferhalt geht.« ■



Verpackungssysteme besser vergleichbar machen will das neue »Mehrweg-Glossar«.

Natürlicher Sonnenschutz für Holz

Einen biobasierten, transparenten Lack, der Parkett und Möbel vor UV-Strahlung schützt, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV gemeinsam mit der Naturhaus Naturfarben GmbH entwickelt.

»Zur natürlichen Bindung in Beschichtungssystemen nutzen wir am Fraunhofer IVV schon seit Längerem Proteine«, erklärt Dr. Melanie Platzer, wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Verfahrensentwicklung Pflanzliche Rohstoffe. »Neu für uns war die Kombination mit sekundären Pflanzenstoffen, die als UV-Schutz für einen wasserbasierten Lack dienen sollten.« Dem Forschungsteam gelang es, Proteine und Pflanzenstoffe eng miteinander zu vernetzen, sodass eine feste Verbindung entstand.

Während der etwa zweijährigen Projektlaufzeit erprobten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler viele Kombinationen und arbeiteten auch mit Mischungen unterschiedlicher sekundärer Pflanzenstoffe sehr erfolgreich. So nutzte das Forschungsteam zum Beispiel Schalen aus der Apfelsaftherstellung oder

Trester aus der Weinproduktion. Unbedenklich sind die gefundenen Optionen allesamt: Der direkte Kontakt oder das Einatmen schaden weder Mensch noch Tier – im Gegensatz zu bisher verfügbaren Lacken, die gesundheitsbedenkliche UV-Blocker wie Benzophenone oder Benzotriazole enthalten. ■

Gesundheitlich und ökologisch unbedenklich: der neue pflanzenbasierte Holzlack aus dem Fraunhofer IVV.



Impressum

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

Herausgeber:

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

Kostenloses Abonnement:

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

Redaktion:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Sirka Henning, Andrea Kaufmann,
Manuel Montefalcone, Lisa Scher-
baum, Kathrin Schwarze-Reiter,
Franziska Sell, Stefanie Smuda,
Mehmet Toprak, Anja Wächter,
Yvonne Weiß, Ulla Wolfshöfer

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Enver Hirsch

Druck:

Kolibri Druck, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2024

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Druckprodukt mit finanziellem
Klimabeitrag
ClimatePartner.com/11586-2402-1001



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



Nitrosamine können
sich in Fleisch bei
hohen Temperaturen
ab 130 Grad Celsius
bilden.

Nicht immer gesundheitsschädlich

Die Grillsaison kommt auf Hochtouren – und damit die Warnungen vor Nitrosaminen in angekokeltem Grillfleisch und Würstchen. Eine aktuelle Studie des Fraunhofer ITEM zeigt: Nicht alle sind gefährlich.

Amine stecken nicht nur in Lebensmitteln, sondern wegen ihrer hohen pharmakologischen Wirksamkeit auch in vielen Medikamenten. Wenn sie im sauren Milieu des Magens auf Nitrite aus der Nahrung treffen, können sich Nitrosamine bilden. Die Verbindungen gelten als krebserregend und erbgutverändernd.

Im Auftrag der Europäischen Arzneimittel-Agentur EMA untersuchte ein Team des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Kooperation mit weiteren Partnern, bei welchen Wirkstoffen ein erhöhtes Risiko besteht. Dr. Sylvia Escher, Abteilungsleiterin In-silico-Toxikologie: »Glücklicherweise haben sich nur bei vier der untersuchten zwölf Substanzen Nitrosamine in relevanten Mengen unter realistischen physiologischen Bedingungen entwickelt.« Durch

weitergehende Untersuchungen in Zellkulturen konnte das Forschungsteam zudem zeigen, dass bei Weitem nicht alle Nitrosamine mutagen wirken. »Vor allem größere Nitrosamine, die eine komplexere Struktur haben, sind weniger aktiv und damit weniger besorgniserregend«, erklärt Dr. Christina Ziemann, Arbeitsgruppenleiterin Genetische Toxikologie.

Die Ergebnisse bestätigen ein neues Bewertungssystem der EMA, das Nitrosamine anhand bestimmter Strukturmerkmale in fünf Kategorien unterteilt – von »hochgradig potent« bis »weitgehend unbedenklich«. An Nitrosamine adaptierte, besonders sensitive In-vitro-Testsysteme sollen helfen, kritische Nitrosamine, bei denen weitere Untersuchungen notwendig sind, frühzeitig auszusortieren und so insgesamt die Zulassung von Medikamenten zu beschleunigen. ■

Titel

Über Wasser

Mal gibt es zu viel, mal zu wenig: Das wichtigste Überlebensmittel macht es uns nicht leicht. Wie lässt sich die Wasserversorgung auch in klimatisch herausfordernden Zeiten sichern?

Von Beate Strobel, Fotografie: Enver Hirsch



Saubere Sache: Dr. Lukas Kriem sucht am Fraunhofer IGB nach Wegen, Abwasser besser zu nutzen. Für das Fraunhofer-Magazin ging er aber lieber im Swimmingpool baden.

Pessimisten sehen das Glas halb leer: Laut einer Studie des Deutschen GeoForschungszentrums (GFZ) hat Deutschland in den Jahren 2002 bis 2022 pro Jahr 750 Millionen Tonnen Wasser verloren – durch abnehmende Bodenfeuchte, schwindendes Grundwasser, schmelzende Gletscher oder allgemein durch gesunkene Wasserspiegel. In dem erfassten Zeitraum ist der gesamte Wasserspeicher des Landes um 15,2 Kubikkilometer zurückgegangen. Das entspricht knapp der Hälfte des jährlichen Wasserverbrauchs Deutschlands durch Industrie, Landwirtschaft und Privathaushalte.

Optimisten blicken auf die Wassermengen, die nach wie vor in Deutschland vorhanden sind. Im tendenziell nassen Jahr 2023 sind die Grundwasserstände bundesweit angestiegen, und auch 2024 hat sich bislang als ziemlich feucht erwiesen. Der Trinkwasserverbrauch pro Kopf wurde von 147 Liter Wasser am Tag im Jahr 1990 auf 121 Liter in 2023 deutlich reduziert. »In der öffentlichen Wahrnehmung erhält das Thema Wassermanagement immer mehr Bedeutung«, bekräftigt Dr.-Ing. Marius Mohr, Leiter des Innovationsfelds Wassertechnologien, Wertstoffgewinnung und Scale-up am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Und das sei auch gerechtfertigt angesichts der Zunahme von Extremwetterereignissen wie Starkregen und Dürren. Auch wenn sich der Frühling 2024 anders anfühlte: »In absehbarer Zeit werden wir in Deutschland Trockenheitsperioden erleben wie etwa Spanien bereits heute.«

Um das Glas angesichts dieser Prognose weiterhin zumindest halbwegs voll zu halten, muss sich vieles ändern im Umgang mit Wasser. Die nationale Wasserstrategie der Bundesregierung von 2023 mahnt nicht nur eine nachhaltige Nutzung der nassen Ressource an, sondern auch einen verbesserten Schutz der natürlichen Wasservorräte vor chemischen Verunreinigungen sowie vor der Einbringung von Mikroplastik. Dafür sind Kraftanstrengungen nötig – und das in allen Sektoren: Industrie, Landwirtschaft, öffentliche Wasserversorgung. In der Fraunhofer-

Alianz SysWasser bringen derzeit elf Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen ein, um Wasserinfrastruktursysteme nachhaltiger und resilienter zu gestalten, um das Wasser- und Abwassermanagement in Richtung Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und die Landwirtschaft bei der Anpassung an neue Klimabedingungen zu unterstützen.

Privathaushalt und Kommune: mehr Digitalisierung

Einen großen Hebel erhoffen sich Forschung, Politik und Wirtschaft von dem Einzug der Digitalisierung in die Welt des Wassermanagements. Im Herbst 2023 gestartet ist beispielsweise das Projekt InDigWa innerhalb der Innovationspartnerschaft Morgenstadt, einem Netzwerk aus Fraunhofer-Instituten, Kommunen und Unternehmen. Die Fraunhofer-Institute für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und für System- und Innovationsforschung ISI sowie das Fraunhofer IGB wollen dabei Daten über den gesamt-

ten Trinkwasserkreislauf sammeln: vom Brunnen über die Nutzung bis zur Entsorgung.

Die Idee der smarten Vernetzung: »Industrie und Mittelstand sowie die unterschiedlichen Akteure der kommunalen Wasserver- und -entsorgung haben bereits viele einzelne Innovationen entwickelt«, erklärt Projektleiterin Susanne Liane Buck vom Fraunhofer IAO. »Unser Ansatz ist, diese Insellösungen zu einem System zu verknüpfen und auch den Endverbraucher mit einzubeziehen, um die Effizienz der Trinkwasserversorgung auf der Basis erhobener Daten zu steigern.«

Für das Projekt sollen bereits existierende Ansätze – etwa Wassersparduschen sowie getrennte Kreisläufe für Trinkwasser und sogenanntes Grauwasser, also gering verschmutztes Abwasser – in ausgewählte Wohnungen eines Bremer Quartiers eingebaut und getestet werden. Für den Außenbereich ist ein smartes Regenwassermanagement geplant, um die Wasserver- und -entsorgung auch in Trocken- und Regenphasen besser gestalten zu können. Ein neuartiges Bewässerungssystem von Grünanlagen im Quartier soll den Trinkwasserverbrauch senken. Buck: »Wir wollen eine Schablone schaffen für ein ganzheitliches Wassermanagement, das sowohl für den Neubau wie für Bestandsquartiere funktioniert.«

Zwölf Projektpartner vom Wasserversorger und Wohnungsbau über die Gebäudetechnik und Sensorik-Unternehmen bis hin zur Abwasserentsorgung sind bei dem interdisziplinär aufgestellten Projekt InDigWa mit an Bord. Die Datenerhebung in Privathaushalten sei angesichts der Datenschutzregeln eine Herausforderung, so Buck: Schließlich berichtet der Wasserverbrauch aus sehr privaten Lebensbereichen. Doch gerade dieser Blick ins Badezimmer oder in die Küche ist wichtig, um etwa Spararmaturen weiterzuentwickeln. Als Soziologin weiß Buck außerdem, dass es bei der Implementierung von Innovationen nie allein um die Technologie, sondern auch um die Partizipationsbereitschaft des Menschen geht. Und der ist zumindest in Deutschland gewöhnt, dass Wasser in besserer Qualität aus dem Hahn kommt und jederzeit verfügbar ist. Die Installation ►



63%
des Gesamt-
wasserverbrauchs
in deutschen
Privathaushalten
fließen im Bad für
Baden, Duschen
und Toiletten-
spülung.

(Quelle: BDEW, Stand 2021)



»Unser Ansatz ist, Inselösungen zu einem System zu verknüpfen, um die Effizienz der Trinkwasserversorgung zu steigern.«

Susanne Liane Buck,
Fraunhofer IAO

Brücken bauen:
Soziologin Buck will das
Wassermanagement in
einem Bremer Quartier
durch Vernetzung aller
Stakeholder optimieren.

»Wir analysieren, welche Anreize zu einem nachhaltigen Umgang mit Wasser anregen.«

Dr. Marc Jentsch,
Fraunhofer FIT



Den Datenfluss verbessern:
IT-Experte Dr. Marc Jentsch errichtet ein »Living Lab«.

einer zweiten Versorgungsleitung im Haus, die »Wasser zweiter Klasse« spenden würde etwa für das Gießen der Blumen, sieht Dr.-Ing. Marius Mohr deshalb kritisch: »Mit mehreren Versorgungsnetzen steigt das Risiko von Fehlan schlüssen und das kann man sich im Trinkwassersektor nicht erlauben. Sobald geringste Qualitätszweifel aufkommen, zapfen die Menschen ihr Trinkwasser schnell nicht mehr aus dem Wasserhahn, sondern kaufen vermehrt in Plastik- oder Glasflaschen, was den Nachhaltigkeitsgedanken wieder zunichtemacht.«

Projekte wie InDigWa können aber auch zum Erhalt der Wasserqualität beitragen. »Zunehmend lange Hitzeperioden bringen auch hygienische Probleme mit sich, etwa eine steigende Gefahr von Legionellen im Wasser«, erklärt Susanne Liane Buck. Durch eine kontinuierliche Datenerhebung lassen sich die kommunalen Kontrollen künftig wohl effizienter gestalten.

Für den Endverbraucher könnte die Rückmeldung der eigenen Verbrauchszahlen beispielsweise via App ein Aha-Erlebnis bieten: Wer weiß schon, wie viel Wasser für die Morgendusche oder das Gießen der Blumen durch den Hahn fließt? Derlei Alltagsnutzung in Zahlen festzuhalten und dem Verbraucher – egal, ob Privatmensch oder Unternehmen – zurückzuspielen, ist auch das Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekts CrowdWater: Unter der Gesamtkoordination des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT werden ausgewählte Haushalte und Gewerbe mit intelligenten Messgeräten ausgestattet und zu einem »Living Lab« vernetzt, also einem virtuellen Labor, das die Wassernutzung in unterschiedlichen Sektoren unter Realbedingungen erfasst.

»Unser Ziel ist, eine dezentrale Datenplattform zu entwickeln, mit deren Hilfe der Wasserverbrauch ereignisspezifisch gemessen und dem Verbraucher zurückgemeldet wird«, erklärt Dr. Marc Jentsch, IT-Experte am Fraunhofer FIT. »Im Anschluss analysieren wir, inwiefern die Kenntnis der Nutzungsdaten den Verbrauch verändert und welche Anreize zu einem nachhaltigen Umgang mit Wasser anre-

gen.« Aktuell suchen Jentsch und sein Team noch Privathaushalte sowie produzierendes Gewerbe aus den Kreisen Troisdorf, Kirchen (Sieg) und Hennef mit Interesse an einer Teilnahme am Living Lab (mehr unter crowdwater.info).

Bereits mit dabei ist eine Sportschule, die bislang den Wasserverbrauch nur an einem Gesamtzähler ablesen kann, im Detail aber nicht weiß, wie viel Wasser etwa auf Kosten des Schwimmbads, der Duschen oder der Bewässerung von Grünanlagen gehen. Jentsch: »Dort erhofft man sich, künftig mit intelligenter Sensorik den jeweiligen Verbrauch in Echtzeit monitoren zu können.« Die beteiligten Versorger hingegen sehen großes Optimierungspotenzial im Detektieren von Lecks. »Wir werden durch CrowdWater das Sensorik-Netz deutlich verdichten,



Der weltweite Wasserverbrauch hat sich zwischen **1930 und 2000** **versechsfacht** – bei einer Verdreifachung der Weltbevölkerung.

(Quelle: BPB)

um eine Leckage sehr viel schneller erkennen und beseitigen zu können«, verspricht Jentsch. Weltweit gehen laut einer Studie der International Water Association täglich 346 Millionen Kubikmeter Wasser auf dem Weg zum Verbraucher verloren, in Deutschland geht man von etwa 400 Millionen Kubikmeter Wasserverlust pro Jahr aus.

Landwirtschaft: Wenn Pflanzen nur mit Wasser wachsen

Ein Verlust, den man immer weniger akzeptieren darf. Denn Wasser ist nicht nur selbst ein Lebensmittel, sondern auch das Fundament der Lebensmittelproduktion. 69 Prozent der weltweiten Wasservorräte aus dem Grundwasser sowie Binnengewässern werden heute von der Landwirtschaft verbraucht. Da aber die Weltbevölkerung wächst, gehen Prognosen von einem um bis zu 50 Prozent steigenden Durst des Agrarsektors bis 2050 aus – während zugleich klimabedingt das Wasser knapp wird. Der Ansatz der Hydroponie erscheint da auf den ersten Blick widersinnig: Pflanzen nicht mehr in Bodensubstrat, sondern komplett in Wasserbehältern wachsen zu lassen – erhöht das nicht sogar den Wasserverbrauch?

Nein, widerspricht Marc Beckett, der sich am Fraunhofer IGB mit der Entwicklung und Implementierung nachhaltiger Wassermanagement- und Wassernutzungssysteme beschäftigt. Zum einen kann das Wasser, aus dem die Pflanze die benötigten Nährstoffe zieht, im Kreislauf geführt, also immer wieder neu angereichert und verwendet werden, während es beim konventionellen Anbau im Boden versickert oder auch verdunstet. Dadurch erreicht das Wasser nicht die Pflanze, was zu einem höheren Wasserverbrauch führt. »Hier sind durch Hydroponie Wassereinsparungen von bis zu 90 Prozent möglich«, erklärt Beckett. Zum anderen benötigt diese Form des Anbaus deutlich weniger Fläche, kann durch Standortunabhängigkeit auch im urbanen Umfeld implementiert werden und erlaubt »vertical farming«, also den Anbau in der Vertikale.

Noch wichtiger in Sachen Wassereinsparung ist der Fakt, dass für den hydroponischen Anbau nicht zwingend Trinkwasser verwendet werden muss, sondern auch Abwasser, das natürlich vorab gereinigt und – etwa durch UV-Licht, Membran- oder Aktivkohlebiofilter – von Keimen und Schadstoffen befreit wurde. In dem Projekt HypoWave sowie dem Nachfolgerprojekt HypoWave+, in denen sich das Fraunhofer IGB einbringt, werden Lösungen entwickelt für eine hydroponische ►

»Anstatt Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium oder Calcium energieintensiv aus dem Abwasser zu entfernen, überlassen wir den Pflanzen diese Aufgabe.«

Marc Beckett,
Fraunhofer IGB



Die Produktion von
1 kg Kartoffeln
benötigt in **Deutschland**

119 Liter

Wasser. Für die gleiche
Menge **Kartoffeln**
aus **Ägypten** werden
418 Liter eingesetzt.

(Quelle: Umweltbundesamt)

Pflanzenproduktion bei Nutzung von kommunalem Abwasser als Bewässerungsquelle. »Anstatt Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium oder Calcium energieintensiv aus dem Abwasser zu entfernen, überlassen wir den Pflanzen diese Aufgabe«, erklärt Beckett. Im Landkreis Gifhorn wird dieser Ansatz bereits pilotartig umgesetzt.

Den Pflanzenbedarf passgenau stillen:

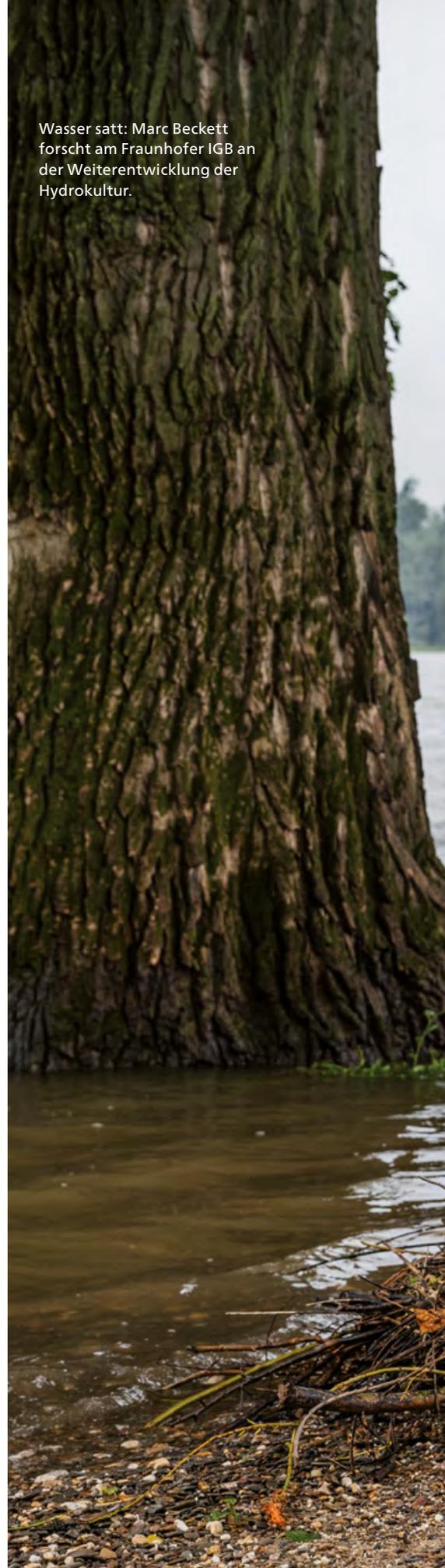
Dafür will Mikrobiologe Dr. Lukas Kriem außerdem Abfallstoffe zur Produktion von Nährstofflösungen für die Hydroponie nutzen: »Kalium etwa lässt sich relativ einfach aus Abfall wie Bananen- und Kartoffelschalen lösen. Schwieriger wird es bei der Rückgewinnung von Phosphat und Nitrat aus Abfällen und Abwasser. Hier arbeiten wir an den Entwicklung geeigneter mikrobiologischer Prozesse.«

Geboren ist dieser Forschungsansatz aus einer Notwendigkeit: Bei einem Projekt in einem Flüchtlingslager in der Sahara suchten die Wissenschaftler Beckett und Kriem nach einem Weg, mit den Akteuren vor Ort ein hydroponisches System weiterzuentwickeln, sodass auch Gemüse und Kräuter mit Hydrokultur wachsen können. In dem Folgeprojekt NexusHub wurde seitens des Fraunhofer IGB mit der Weiterverwertung von Tier- und Knochenmehl im hydroponischen Anbau von Gemüse experimentiert und Prozesse erarbeitet, um aus organischen Reststoffen eine hydroponische Nährstofflösung für den Anbau von Koriander und Grünkohl zu erzeugen. Die dafür benötigte Energie soll eine Photovoltaikanlage liefern, die vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT entwickelt wird, sodass diese Anbauweise auch in entlegenen Regionen nachhaltig realisierbar ist. Umgesetzt wurde dieser Ansatz bereits im Pilotmaßstab in Kenia. Kriem: »Wir wollen robuste Lösungen entwickeln, mit deren Hilfe auch Substanzen wertvoll werden, die bislang keinen Wert haben.«

Jenseits von Afrika wächst die Bedeutung

einer effizienten und kostengünstigen Abwasseraufbereitung ebenfalls. Und das nicht nur, weil durch Brauchwasser aus Haushalt und Industrie belastende Substanzen wie Mikroplastik oder die ▶

Wasser satt: Marc Beckett forscht am Fraunhofer IGB an der Weiterentwicklung der Hydrokultur.





»Wir wollen robuste Lösungen entwickeln, mit deren Hilfe auch Substanzen wertvoll werden, die bislang keinen Wert haben.«

Dr. Lukas Kriem, Fraunhofer IGB



Ewigkeitschemikalien PFAS in die Umwelt gelangen. Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT hat im Verbundprojekt ROOF WATER-FARM ein Verfahren entwickelt, mit dem sogenanntes Schwarzwasser – Abwasser aus der Toilette – dezentral aufbereitet und für die Gemüseproduktion verwendet werden kann. Im Projekt SUSKULT beschäftigen sich die Forschenden mit der Einbindung von Kläranlagen in die Agrarwirtschaft. Denn ob Nährstoffe, Wasser, Wärme oder CO₂: All die Ressourcen, die in der Landwirtschaft benötigt werden, sind in Kläranlagen vorhanden. Auch das Fraunhofer IGB setzt im Projekt RoKKA auf die Umgestaltung von Kläranlagen hin zu Abwasser-Bioraffinerien inklusive Nutzung von Rest- und Abfallstoffen: In sechs Pilotanlagen

Aquakultur statt Ozean: Das Meer im kleinen Maßstab

In diesem Jahr war der 29. Februar der »End of Fish Day« – jener Tag also, an dem Deutschland 2024 rein rechnerisch die eigenen Fischreserven in Nord- und Ostsee aufgebraucht hat und seither durch Importe den Fischteller füllt. 2020 lag dieser Tag noch am 4. April. Der Bund für Umwelt und Naturschutz BUND fordert deshalb die Menschen auf, weniger Fisch und mehr pflanzliche Alternativen zu essen. Aber ist das die einzige Lösung?

Fisch ist gesund. Doch um den Fischbeständen in den Ozeanen eine Chance auf Genesung zu geben, sollte künftig ein deutlich größerer Teil des Fischkonsums durch Bestände aus Aquakulturen gedeckt werden. »Die Herausforderung dabei ist, diese Verfahren so ressourcenschonend und tiergerecht wie möglich zu gestalten«, erklärt Dr. Henrike Seibel, die an der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Büsum die Abteilung Aquakultur und

Aquatische Ressourcen leitet. »Wenn wir den »End of Fish Day« wieder nach hinten verschieben wollen, müssen wir Aquakulturen effizienter und damit ökonomisch attraktiver machen, indem wir das vorhandene Wasser intensiver nutzen, ohne dabei die Umwelt zu schädigen«, führt ihr Kollege, der Biologe Michael Schlachter, aus. »Und das geht über Kreislauftechnik.«

Geschlossene Wasserkreislaufsysteme bieten den Vorteil, Einflüsse wie Licht, Klima und Wasserversorgung zu kontrollieren und entsprechend der Fischart zu moderieren. So können wir auch in Deutschland Meerestiere züchten, die eigentlich in anderen Teilen der Welt zu Hause sind und dort oft unter extremer Umweltbelastung im großen Stil produziert werden. Als Beispiel nennt Schlachter die Garnelenzucht: »In geschlossenen Salzwasseranlagen, bei denen nur noch rund zwei Prozent des Wassers regelmäßig ausgetauscht werden müssen, können Gar-

nelen nun beispielsweise auch in Bayern gezüchtet werden.«

An der Fraunhofer IMTE stehen den Forschenden diverse Systeme von kleinen Aquarien bis hin zu großen Bassins zur Verfügung, um Fragestellungen der Industrie hinsichtlich Filtertechnologien, Ernährung der Fische, Reproduktion und Fischgesundheit zu beantworten. Im Fokus der Forschung steht dabei das Schließen von Kreisläufen und die Kaskadennutzung der verschiedenen Stoffströme im Sinne der Bioökonomie – unter anderem mit dem Konzept der Integrierten Multitrophischen Aquakultur (IMTA). Hier werden die Fische entlang der Nahrungskette mit passenden anderen Meeresbewohnern und -pflanzen kombiniert, um auch jenen Teil der Nährstoffe aus dem Fischfutter zu verwerten, den die Fische übrig lassen. »Muscheln oder Würmer können beispielsweise die partikulären Substanzen aufnehmen, die von den Fischen abgegeben werden, während Makroalgen

demonstrieren die Forschenden auf der Kläranlage Erbach in Baden-Württemberg die Produktion von Wertstoffen aus Klärschlamm. »Vor allem der im Schlammwasser hochkonzentriert vorliegende Stickstoff ist interessant«, erklärt Marius Mohr. Üblicherweise wird Stickstoff energieintensiv zu Düngungszwecken aus der Luft gewonnen. Eine frühe Abtrennung von Stickstoff könnte außerdem die Emissionen des üblicherweise beim Abbau entstehenden klimaschädlichen Lachgases verhindern.

Industrie: Wasser im Kreis führen, Rohstoffe zurückgewinnen

Die in der Fraunhofer-Allianz SysWasser vereinten Forschungsinstitute fahnden auch nach Innovationen zur Aufbereitung

von industriellen wie kommunalen Abwasserströmen, sodass das Wasser dem produzierenden Gewerbe oder der Landwirtschaft erneut zur Verfügung gestellt und dadurch im Kreislauf geführt werden kann. Der Hebel für ein nachhaltiges Wassermanagement ist hier groß: In Deutschland liegt der Wasserverbrauch des produzierenden Gewerbes bei 4,5 Milliarden Kubikmetern jährlich. Parallel zum Bestreben, Wasser einzusparen, wächst in der Wirtschaft das Bewusstsein dafür, dass im Prozesswasser oftmals Chemikalien oder Reststoffe enthalten sind, die industriell erneut genutzt werden könnten. Aus Abwässern metallverarbeitender Betriebe könnten sogar teure Rohstoffe wie Silber oder Kupfer extrahiert und wieder dem Stoffkreislauf zugeführt werden. Dieser Aspekt macht die Rückgewinnung

nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen spannend.

Was steckt im Wasser? Um das herauszufinden, wurde am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS eine Integrationstechnologie entwickelt, mit der künftig mit nur einem Sensorchip kontinuierlich parallel und in Echtzeit Wasserparameter wie pH-Wert, Nitrat-, Phosphat- und Kaliumkonzentration gemessen werden können. Auf dem Chip sind mehrere sogenannte ionensensitive Feldeffekttransistoren (ISFETs) integriert, mit deren Hilfe sich die Konzentration zahlreicher Ionen im Wasser bestimmen lässt. Dr. Olaf R. Hild, Leiter des Geschäftsfelds Chemische Sensorik am Fraunhofer IPMS, ist überzeugt: »Ein derartiges Messsystem eröffnet neue Möglichkeiten ▶

Freunde frischer Fische: Dr. Henrike Seibel und Michael Schlachter von der Fraunhofer-Einrichtung IMTE setzen auf Kreislaufwirtschaft.



die gelösten Nährstoffe umsetzen«, erklärt Michael Schlachter. Dies vermindert nicht nur Emissionen und erleichtert dadurch die Aufreinigung des Wassers, sondern erhöht auch die Produktvielfalt.

»Aquakulturen haben im Bewusstsein der Konsumenten oft einen schlechten Ruf – doch zu Unrecht«, findet Henrike Seibel. Denn die Zeiten, in denen die Betreiber in großen Mengen Antibiotika einsetzten, um Krankheiten im Fischbestand zu verhindern, seien vorbei: »EU-weit kann man als Verbraucher oder Verbraucherin davon ausgehen, dass in Aquakulturen nur noch in Ausnahmefällen Antibiotika eingesetzt werden.« Denn in der Aquakultur ergeben sich längst bessere Möglichkeiten wie die vorbeugende Impfung der Tiere oder in Kreislaufsystemen die volle Kontrolle über die Wasserqualität und den Einsatz etwa von UV-Licht zur Entkeimung. Aquakulturen, so Seibel, »sind in der Regel deutlich besser kontrolliert als das Wasser in den Ozeanen«.



Aquakultur@Fraunhofer
Kompetenzen bündeln:
Mehr Informationen unter
www.aquakultur.fraunhofer.de



für Anwendungen in der Umweltanalytik, der Land- und Wasserwirtschaft sowie im stark wachsenden Markt der Indoorfarming-Anwendungen.«

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS haben auf dem Gelände des Gemeinschaftsklärwerks Bitterfeld-Wolfen eine Technologie-Plattform errichtet, um unterschiedliche Reinigungsverfahren für die Bedarfe der Industriekunden zu entwickeln und zu testen. Die Kläranlage ist eine der größten in Mitteldeutschland, hier laufen die Abwässer von knapp 300 Betrieben eines nahen Chemieparks ein. Durch die Kombination weiterentwickelter Keramikmembranen mit elektrochemischen, sonochemischen und photokatalytischen sowie biologischen Prozessen lassen sich auch extrem heterogen zusammengesetzte Prozesswasser bedarfsgerecht filtern und aufbereiten. Das Ergebnis: Wasser und Wertstoffe – beides bereit für den Wiedereinsatz.

Der Kreislaufansatz kann selbst nachhaltige Produkte noch nachhaltiger machen. Beispiel Photovoltaik: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Fraunhofer-Institute für Bauphysik IBP und für Solare Energiesysteme ISE haben zusammen mit der TU Berlin und der Rena Technologies GmbH ein Modell der Wasserflüsse in einer 5-Gigawatt-Solarzellen-Fabrik erstellt. Auf dieser Grundlage prüften sie die Einführung unterschiedlicher Strategien zur zirkulären Wassernutzung. Das Ergebnis: Wassereinsparungen in der Solarzellen-Fertigung von bis zu 79 Prozent und eine Abwasserreduzierung von bis zu 84 Prozent wären bereits mit heutigen Produktionstechnologien technisch möglich. Dies erleichtert den Bau neuer Solarzellen-Fabriken auch an Standorten mit weniger Wasserverfügbarkeit.

»Empfehlen können wir zwei Ansätze: Die Wiederverwendung leicht kontaminierten Abwassers (low contaminated wastewater, LCR) und den sogenannten »Minimal Liquid Discharge« (MLD), bei dem bestimmte Reststoffe anderweitig wiederverwertet werden«, erklärt Peter Brailovsky vom Fraunhofer ISE. So könne man etwa zurückbleibende Ätzlösungen noch in der Zementfertigung nutzen.

Aus dem Alten schöpfen: Eine ähnliche Bedeutung kommt in naher Zukunft der Wiederaufbereitung von Wasser zu, das beim Recycling von Lithium-Ionen-Batterien benötigt wird. In dem Abwasser finden sich gelöste Metallionen wie Lithium, Nickel, Kobalt, Kupfer und Aluminium – oder kurz gesagt: kritische Materialien, die für die Batterieherstellung bedeutsam sind, die Deutschland aber meist teuer importieren muss. Am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM arbeitet die spanische Chemieingenieurin Dr. Cleis



Die Wissenschaft rechnet damit, dass die Niederschläge bis zum Ende des Jahrhunderts im Sommer um bis zu **7%** abnehmen.

(Quelle: Umweltbundesamt)

Santos im Projekt MeGaBatt an elektrochemischen Technologien, mit denen sich das Prozesswasser aus dem Batterierecyclingprozess umweltfreundlich und kostengünstig so aufbereiten lässt, dass auch die kritischen Rohstoffe im Kreislauf gehalten werden. »Dass dies im Labormaßstab funktioniert, wissen wir bereits«, erklärt sie. »Doch unser Ziel ist, am Ende des Projekts 2028 eine Pilotanlage errichtet zu haben, die belegt, dass diese Methode auch im großen Maßstab wirtschaftlich einen Sinn ergibt.« Laut Prognosen wird die Menge der zu recycelnden

Batterien in Europa von aktuell 50 Kilotonnen auf 2100 Kilotonnen im Jahr 2040 ansteigen. Ein smartes Batterierecycling könnte mittelfristig die Abhängigkeit von Batteriematerial-Importen zumindest ein Stück weit verringern. Das Projekt MeGaBatt ist Teil der Initiative »BattFutur«, mit der das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Dachkonzept »Forschungsfabrik Batterie« den wissenschaftlichen Nachwuchs in der Batterieforschung fördert.

Die elektrochemische Entionisierung von Wasser, bei der Ionen über Elektroden aus dem Wasser entfernt werden, ist laut Santos auch für andere Abwasserproduzenten wie etwa Kliniken interessant – und für die Entsalzung von Meerwasser. Mehr Wasser aus Meerwasser? Das klingt verführerisch. Tatsächlich produzieren bereits 22 000 Entsalzungsanlagen weltweit Trinkwasser und Betriebswasser aus dem Nass der Ozeane. Doch die bisherigen Technologien – thermische Entsalzung sowie das Pressen von Meerwasser durch eine Membran, die Salze zurückhalten kann – sind sehr energieintensiv und dadurch teuer. Eine Entsalzung auf elektrochemischem Weg benötigt weniger Energie, betont Cleis Santos.

Für Marius Mohr vom Fraunhofer IGB steht fest, dass an dieser Stelle dringend neue Konzepte entwickelt werden müssen. Denn auch wenn wir in Deutschland in naher Zukunft vermutlich kein entsalztes Meerwasser trinken müssen: »Wasser ist kein nationales Problem mehr, sondern muss als eine globale Herausforderung verstanden werden.« Der Bauingenieur beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren mit den großen Fragen rund um das Thema Wasser. Trockene Forschungsroutine? Die Gefahr sieht Mohr nicht: »Es fühlt sich bis heute wie Pionierarbeit an.« ■



Fraunhofer-Allianz SysWasser
Mehr Informationen zu Wasserforschung bei Fraunhofer unter www.syswasser.de



»Unser Ziel ist, am Ende des Projekts eine Pilotanlage errichtet zu haben, die belegt, dass diese Methode auch im großen Maßstab wirtschaftlich einen Sinn ergibt.«

Dr. Cleis Santos, Fraunhofer IFAM



Lichtblick: Dr. Cleis Santos forscht am Fraunhofer IFAM an der Rückgewinnung kritischer Materialien aus Abwasser durch elektrochemische Prozesse.

3x3 Fragen: Wasser

Prof. Thomas Rauschenbach,

Direktor des Institutsteils Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB



»Ein wichtiger Baustein ist die Wiederverwendung von Wasser.«

1 Welche Wasserressource sollte eine größere Rolle bei der Bewältigung der drohenden globalen Wasserknappheit spielen?

Die Fraunhofer-Allianz SysWasser beschäftigt sich mit der Entwicklung von Konzepten, um die Wasserversorgung resilienter zu gestalten. Ein wichtiger Baustein dafür ist die Wiederverwendung von Wasser. Insbesondere die intersektorische Wasserwiederverwendung – also Wasser regional über die drei Sektoren Kommune, Industrie und Landwirtschaft hinweg im Kreislauf zu führen – bietet erhebliches Potenzial.

2 Inwiefern kann Digitalisierung dazu beitragen, die Wasserwirtschaft zu optimieren?

Einen wesentlichen Beitrag leisten Sensoren und »Smart Meter«, die online Daten zur Wasserqualität und zum Verbrauch liefern. Darauf aufbauend können Simulationsmodelle entwickelt werden, die eine optimale Nutzung und Allokation von Wasserressourcen ermöglichen. In der Landwirtschaft kann mit Sensordaten und Modellen des Pflanzenwachstums die Bewässerung optimiert werden. In dem Projekt NiMo 4.0, bei dem das Fraunhofer IOSB beteiligt war, wurde Künstliche Intelligenz zur Vorhersage des Nitrat-Gehalts im Grundwasser erfolgreich eingesetzt.

3 Ihr Tipp für den Alltag: Wie kann der Privatmensch seinen Wasserverbrauch signifikant reduzieren?

Indem man herkömmliche Duschköpfe durch Sparduschköpfe ersetzt. Während ein normaler Duschkopf rund 15 Liter Wasser pro Minute durchlässt, sind es bei guten Sparduschköpfen nur sechs Liter pro Minute. ■

Dr.-Ing. Burkhardt Faßauer,

Abteilungsleiter Kreislauftechnologien und Wasser am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS



»Abwasser kann weitgehend aufbereitet und neu eingesetzt werden.«

1 Welche Wasserressource sollte eine größere Rolle bei der Bewältigung der drohenden globalen Wasserknappheit spielen?

Vor allem ist hier Wasser zu nennen, das durch Menschen im persönlichen Gebrauch oder im Wirtschaftskreislauf bereits genutzt wurde, also nach heutigem Verständnis Abwasser ist. Statt vorwiegend auf Ressourcen wie Grundwasser oder natürliche Gewässer zuzugreifen, kann Abwasser heute sehr weitgehend aufbereitet und in sicherer Qualität für verschiedenste Zwecke neu eingesetzt werden. Die Technologien dafür gibt es und wir arbeiten intensiv daran, sie zu verbessern, um ihre Verbreitung zu erhöhen.

2 Inwiefern kann Digitalisierung dazu beitragen, die Wasserwirtschaft zu optimieren?

Die Bereitstellung von Wasser in ausreichender Menge und Qualität ist neben dem Schutz der aquatischen Umwelt die wichtigste Aufgabe der Wasserwirtschaft. Sie ist in Mangelsituationen wie etwa langen Trockenphasen besonders schwierig zu erfüllen. Gerade dann kann Digitalisierung durch verbesserte sensorische Überwachung und intelligente Mengenbewirtschaftung helfen: Sie begrenzt, sichert die Qualität und schafft neue wassertechnologische Verbindungen zwischen Kommunen, Industrie und Landwirtschaft.

3 Ihr Tipp für den Alltag: Wie kann der Privatmensch seinen Wasserverbrauch signifikant reduzieren?

Hier muss man sagen, dass viele schon recht sparsam mit der Ressource Wasser umgehen. Das Bewusstsein dafür hat sich in den zurückliegenden, teils recht trockenen Jahren enorm entwickelt. Der größte Hebel, um den eigenen Wasserverbrauch zu reduzieren, liegt beim Baden und Duschen: Dafür verbrauchen wir im Privathaushalt mehr als ein Drittel des Wassers. Der Verzicht auf ein Vollbad oder eine regelmäßig kürzere Duschzeit helfen am schnellsten bei der Reduzierung des Wasserverbrauches – und spart zusätzlich Energie. ■

Dr.-Ing. Ursula Schließmann,

Stv. Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und Geschäftsstellenleiterin der Fraunhofer-Allianz SysWasser



»Auf Pflanzen umsteigen, die Trockenperioden überstehen.«

1 Welche Wasserressource sollte eine größere Rolle bei der Bewältigung der drohenden globalen Wasserknappheit spielen?

Es gibt – daran arbeiten wir auch am Fraunhofer IGB – dezentrale Lösungen, etwa die Wassergewinnung aus Luftfeuchtigkeit. Insgesamt sehe ich aber die Notwendigkeit, Wasser vermehrt im Kreislauf zu führen. In der Allianz SysWasser arbeiten wir an konzeptionellen und technischen Lösungen, um Wasser zielgenau aufzubereiten und Überwachungs- und Regelungssysteme aufzubauen. So wird die Voraussetzung dafür geschaffen, aufbereitetes kommunales Abwasser zukünftig gefahrlos etwa für die Bewässerung in der Landwirtschaft zu nutzen.

2 Inwiefern kann Digitalisierung dazu beitragen, die Wasserwirtschaft zu optimieren?

Sensoren, Modellierungen, Digitale Zwillinge oder KI bieten unglaubliches Anwendungspotenzial für das Ressourcenmanagement, etwa bei der Überwachung von Wassermengen und -qualitäten oder der Optimierung technischer Anlagen für die Wasseraufbereitung. Am Fraunhofer IGB etablieren wir effiziente Dateninfrastrukturen, welche die Prozess-, Anlagen- und Sensordaten kommunikativ miteinander verbinden, sodass wir auch das Gesamtsystem steuern können. Für ein hydroponisches Gewächshaus ohne Erde können wir auf diese Weise Lösungen für konkurrierende Zielstellungen identifizieren. Das heißt, Nährstoffe im Zuge der Abwasserreinigung zu entfernen und gleichzeitig die Pflanzen ausreichend mit Nährstoffen zu versorgen.

3 Ihr Tipp für den Alltag: Wie kann der Privatemensch seinen Wasserverbrauch signifikant reduzieren?

Die größten Effekte lassen sich dort erzielen, wo im Haushalt am meisten Wasser verbraucht wird: im Bad und in der Küche. Hier etwa die Wasserspartaste an der Toilette nutzen oder das Wasser abstellen, wenn es nicht gebraucht wird (z. B. beim Zähneputzen, Gemüsewaschen oder Geschirrspülen). Waschmaschinen nur voll beladen nutzen. Und wenn im Sommer das gesammelte Regenwasser nicht mehr zum Gießen ausreicht: langfristig auf Pflanzen umsteigen, die auch längere Trockenperioden überstehen. ■



Wasserwächter: Fraunhofer-Forschende (Foto: Michael Schlachter, Fraunhofer IMTE) erarbeiten Wege für einen besseren Umgang mit der nassen Ressource.

»Der größte Hebel, um den eigenen Wasserverbrauch zu reduzieren, liegt beim Baden und Duschen.«

Dr.-Ing. Burkhardt Faßauer, Fraunhofer IKTS



Alles an Bord:
Rund 90 Prozent
aller internationalen
Handelswaren werden
über den Seeweg
transportiert.

Die Energie der Zukunft?

Könnte Ammoniak die Wende in der Klimakrise bedeuten? Sieben Fraunhofer- Institute erforschen das Gas als klimaneutralen Energieträger.

Von Kathrin Schwarze-Reiter



Es ist farblos und lässt sich leicht in Wasser lösen. Doch es ist auch giftig, reizt die Atemwege und riecht unfassbar stechend. Um es genau zu sagen: Ammoniak stinkt nach Urin. Denn im Körper spielt das Gas – eine Verbindung aus Stickstoff und Wasserstoff – eine wichtige Aufgabe als Zwischenprodukt beim Auf- und Abbau von Aminosäuren und wird nach getaner Arbeit als Harnstoff ausgeschieden.

Was hat das beißende Gas mit der Klimakrise zu tun? Welche Rolle könnte es bei der nachhaltigen Energieversorgung spielen? Das erforschen gleich sieben Fraunhofer-Institute unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt, Sicherheit und Energietechnik UMSICHT. Sie nehmen im Projekt AMMONVEKTOR, einem der Fraunhofer-Leitprojekte 2024, die potenzielle Wertschöpfungskette von Ammoniak unter die Lupe. Weitere Pro-

jekte wie AMMONPAKTOR des Fraunhofer-Instituts für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM und PICASO des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE entwickeln Reaktoren oder analysieren Produktionsstandorte.

Lange stand Ammoniak im Schatten von Wasserstoff. »Doch auch Ammoniak ist eine extrem spannende Substanz«, sagt Dr.-Ing. Gunther Kolb, Bereichsleiter Energie und stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer IMM. »Heute wird das Gas zwar hauptsächlich für die Produktion von Düngemitteln oder auch als Kältemittel gehandelt. Damit sind seine Möglichkeiten aber noch lange nicht ausgeschöpft.« Da bei der Verbrennung von Ammoniak – anders als bei anderen Energieträgern – kein CO₂ entsteht, sondern lediglich Wasser und Stickstoff, könnte es zu einer emissionsfreien Option für energieintensive Industrien wie die Schifffahrt oder die Stahlindustrie werden. Kolb: »Durch den Einsatz von ▶

Hoffnungsträger Ammoniak

In der Natur kommt freies Ammoniak kaum vor – lediglich verfallende Pflanzen und aktive Vulkane verströmen das Gas. Die größten Emittenten sind Rinder, Schweine und Pferde. Seit mehr als 120 Jahren kann das Gas mit der chemischen Formel NH₃ aber auch synthetisch hergestellt werden. Im Haber-Bosch-Verfahren wird Luft verflüssigt und in ihre Komponenten Sauerstoff, Stickstoff, CO₂ und Wasser aufgetrennt. Im nächsten Schritt lässt sich mit Wasserstoff, der zum Beispiel durch die Elektrolyse von Wasser gewonnen wurde, und Stickstoff bei Temperaturen zwischen 400 und 450 °C und Drücken von 120 bis 220 bar mithilfe eines Katalysators auf Eisenbasis Ammoniak herstellen. Derzeit liegt die weltweite Ammoniakproduktion bei etwa 180 Millionen Tonnen pro Jahr.

Ammoniak-Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren könnten Schiffe umweltfreundlicher werden.«

Forschende des Fraunhofer IMM haben unter Kolbs Leitung auf Ammoniak basierende Systeme zur mobilen und dezentralen Energieversorgung entwickelt. »In kleinen Spaltreaktoren wird Ammoniak an geeigneten Katalysatoren in Stickstoff und Wasserstoff gespalten.« Das Gemisch ist brennbar und kann als »Spaltgas« als Energieträger verwendet werden. Direkt an der Tankstelle lässt sich so mit den Spaltreaktoren Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge erzeugen. Die Reaktoren sind um ein Vielfaches kleiner als konventionelle Reaktoren – sie können auf Schiffen platzsparend transportiert und beliebig oft miteinander kombiniert werden. »Außerdem ist der AMMONPAKTOR-Reaktor sehr effizient – der Spaltreaktor der zweiten Generation produziert 70 Kilo gereinigten Wasserstoff pro Tag«, sagt Kolb.

Wasserstoff kann vieles sein: Energieträger, Speichermedium für Strom, Rohstoff für die Industrie und emissionsfreier Treibstoff. Das chemische Element mit dem Symbol H_2 wird zukünftig eine wichtige Rolle einnehmen: Verschiedene Studien prognostizieren, dass in 20 bis 30 Jahren etwa zwei Drittel der deutschen Energie in Form von Wasserstoff importiert werden. Doch Wasserstoff hat einen großen Nachteil: Er ist schwer zu speichern und zu transportieren, denn er braucht gasförmig hohen Druck oder flüssig sehr tiefe Temperaturen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, den Wasserstoff in sogenannte Derivate umzuwandeln, beispielsweise in Ammoniak. Denn: »Ammoniak ist einer der aussichtsreichen Kandidaten, um Wasserstoff transportfähig zu machen«, sagt Dr. Achim Schaadt, Abteilungsleiter Nachhaltige Syntheseprodukte am Fraunhofer ISE. In sonnen- und windreichen, aber abgelegenen Orten könnte Wasserstoff hergestellt und dann als Ammoniak befördert werden. Die dafür erforderliche Infrastruktur, Erfahrung und Kompetenz im Umgang mit Ammoniak sind bereits vorhanden, denn es wird

schon jetzt großtechnisch hergestellt und transportiert.

Im Auftrag der Stiftung H2Global hat das Fraunhofer ISE im Projekt PICASO (Process Intensification & Advanced Catalysis for Ammonia Sustainable Optimized Process) deshalb mit der Universität Ulm und dem Fukushima Renewable Energy Institute zwölf Länder untersucht, in denen die nachhaltige Herstellung dieser Power-to-X-Produkte bis zum Jahr 2030 besonders gut umsetzbar wäre. »Für den Import des grünen Ammoniaks bieten sich vor allem Brasilien, Kolumbien und Australien an«, sagt Robert Szolak, ebenfalls Abteilungsleiter Nachhaltige Syntheseprodukte am Fraunhofer ISE. Die Forschenden arbeiten an einem neuartigen Power-to-

»Ammoniak ist einer der aussichtsreichen Kandidaten, um Wasserstoff transportfähig zu machen.«

Dr. Achim Schaadt, Fraunhofer ISE

Ammonia-Prozess (PtA) für die nachhaltige und ressourcensparende Ammoniakherstellung. »Wir entwickeln eine integrierte Reaktortechnologie und maßgeschneiderte Betriebsstrategien, die geringere Betriebsdrücke und -temperaturen gestatten«, erklärt Achim Schaadt. »Gleichzeitig können wir die stoffliche und energetische Effizienz des gesamten PtA-Prozesses deutlich steigern. So werden die Investitionskosten von neuen Anlagen maßgeblich gesenkt, was dazu führen kann, dass grüner Ammoniak künftig in abgelegenen Regionen mit hohem Potenzial erneuerbarer Energien oder sogar offshore wirtschaftlich hergestellt werden kann.« Das Gas könnte also auch für andere Länder – insbesondere die des sogenannten Globalen Südens – eine große Chance sein: eine disruptive Technologie,

die einen konventionellen fossilen Prozess ersetzt und den CO_2 -Ausstoß um bis zu 95 Prozent reduziert.

Am Bestimmungsort angekommen, lässt sich Ammoniak wieder in Stickstoff und Wasserstoff aufspalten. Auch dazu forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ISE, um so die gesamte Wertschöpfungskette von der Ammoniakherstellung über die Reformierung bis zu techno-ökonomischen Analysen abzudecken. »Ein energetisch effizienterer Prozess der Ammoniak-Reformierung ist ein wichtiger Schlüssel für dessen Nutzung als Wasserstoffspeicher- und -transportmedium«, erklärt Robert Szolak. Doch bevor Ammoniak und ebenso Wasserstoff als Energieträger flächendeckend eingesetzt werden können, sind noch erhebliche Hürden zu nehmen: »Die Produktion, der Transport und die Speicherung müssen effizienter werden, weniger kosten und mehr Sicherheit bieten«, sagt Prof. Michael Bortz, Abteilungsleiter »Optimierung – Technische Prozesse« und stellvertretender Bereichsleiter »Optimierung« am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM. Zwar sind bisher nur sehr wenige Unfälle bekannt, doch Ammoniak ist ein hochgiftiges, potenziell tödliches Gas. Auch die Umweltorganisation Nabu und das Öko-Institut warnen vor Ammoniak als Ökokraftstoff: Das Gas dürfe nur eingesetzt werden, wenn das bei Produktion, Transport und Verbrennung entstehende Lachgas eliminiert werde, zum Beispiel durch spezielle Reinigungssysteme. Die gesundheitsschädlichen Stickoxidemissionen müsste man ebenso in den Griff bekommen. »Es ist unablässig, dass wir alle Eventualitäten einberechnen, damit Ammoniak sicher gehandhabt, gelagert und transportiert wird«, sagt auch Bortz. Daher werden bei allen Fraunhofer-Systemen im Bereich Ammoniak Reinigungs- und Filtersysteme mitentwickelt und die Reaktoren zahllosen Sicherheitstest unterzogen. Erst wenn es hier grünes Licht gibt, kann Ammoniak zu einem Eckpfeiler der nachhaltigen Energieversorgung werden. ■

Die Luft ist rein

In großen Geflügelställen riecht es nicht nur unangenehm, es lauern auch Krankheitserreger. Um Infektionen zu behandeln, müssen Tiere Antibiotika schlucken – was auch dem Menschen schadet. Fraunhofer-Forschende entwickeln einen anderen Weg: ganz ohne Medikamente.

Von Yvonne Weiß

Sie ist still. Und das macht sie gefährlich. Etwa 9600 Deutsche sterben Jahr für Jahr direkt an den Folgen der sogenannten stillen Pandemie: an bakteriellen Infektionen, gegen die kein Antibiotikum mehr wirkt. Laut einer Studie aus dem Jahr 2022 stehen weitere 45 700 Todesfälle im Zusammenhang mit antibiotikaresistenten Erregern. Tendenz: steigend.

Wer nach den Ursachen für diese Pandemie sucht, landet – im Hühnerstall. Wo mehrere Tausend Tiere auf engstem Raum zusammenleben, ist die Luft stark belastet. Durch Ausscheidungen etwa gelangen Mikroorganismen in die Luft. Um Infektionen zu bekämpfen, wurden 2021 mehr als 600 Tonnen Antibiotika eingesetzt – ein Nährboden für die Entwicklung und Ausbreitung resistenter Erreger.

Gesund dank einer neuen Fraunhofer-Technologie.

Einen Ansatz ganz ohne Antibiotika verfolgt Thomas Westerhoff, Wissenschaftler am Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB. Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft möchte Westerhoff buchstäblich frischen Wind in deutsche Ställe bringen – mit UV-Licht: »Wir entwickeln ein Gerät, das die Zu- und Abluft in Geflügelställen reinigt. Dabei setzen wir auf UV-LED-Technologie.«

Dass UV-Licht die DNA von Bakterien und Viren schädigt und sie so deaktiviert, ist bekannt. Neu ist die LED-Technologie, die in Thomas Westerhoffs Gerät zum Einsatz kommen soll. Sie ist nicht nur umweltfreundlicher als herkömmliche Quecksilberlampen, sondern säubert die Luft auch effizienter.

Die Idee des Wissenschaftlers ist eine Kombination aus zwei Wirkmechanismen: Im Inneren des Luftreinigers sollen die LED-Lampen einerseits die Luft direkt desinfizieren, andererseits eine Oberfläche mit UV-Licht bestrahlen, auf der sich ein Photokatalysator befindet. Trifft das Licht nun auf die Oberfläche, stößt der Katalysator eine chemische Reaktion an: Es entstehen sogenannte Hydroxyl-Radikale.

Diese neutralisieren unangenehme Gerüche, sogenannte Volatile Organic Compounds (VOCs). Zudem desinfizieren auch diese Moleküle die Luft zusätzlich – und töten sowohl Bakterien als auch Viren ab. Infektionen werden so unwahrscheinlicher. Das bedeutet: weniger Antibiotika, weniger belastetes Fleisch, weniger resistente Erreger.

Aktuell suchen Westerhoff und sein Team in einem Thüringer Putenstall nach Antworten auf Fragen wie: Welche VOCs schweben in der Luft? Welche Mikroorganismen? Wie hoch ist die Staubpartikelbelastung? Liegen die Ergebnisse vor, möchte das Team einen Demonstrator entwickeln und bis zum Projektende Mitte 2026 präsentieren.

Angebracht an den oberen Fenstern des Stalls, wird der Demonstrator gleich zwei Funktionen erfüllen. Er reinigt die Abluft, bevor sie aus dem Stall zieht, und entfernt dabei Gerüche. Zudem filtert er die Zuluft, bevor sie ins Stallinnere strömt. Ein entscheidender Vorteil – besonders in Zeiten der Vogelgrippe: »Fliegt nur ein einziger kranker Vogel im Freien ans Fenster, gelangen die Viren in den Stall – und infizieren den gesamten Bestand«, betont Thomas Westerhoff: »Unsere Technik hat das Potenzial, Pandemien einzudämmen.« ■



Stimme aus der Wirtschaft



Oliver Zipse, 60, vertraut auf die Innovationskraft des Hochtechnologie-Standortes Deutschland.

Wachstum für den Wandel

Der Politik in Deutschland fehlt das Bekenntnis zum Wachstum. Wir brauchen den mentalen Paradigmenwechsel für unser Land und für Europa: Anreize statt Verbote, Entry-Strategien anstelle von Exit-Strategien.

Ein Plädoyer von Oliver Zipse, Vorsitzender des Vorstands der BMW AG

Wohlstand ohne Wachstum«. »Gesund schrumpfen«. »Nur noch grünes Wachstum«. Wer die öffentliche Debatte der vergangenen Jahre über vermeintlich richtige Wirtschaftsstrategien verfolgt, der kann schnell zu dem Schluss kommen, dass Wirtschaftswachstum als notwendige und erstrebenswerte Zielsetzung ausgedient hat. Dass es sich nicht mit den richtigen und wichtigen Bestrebungen zu mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung verbinden lässt. Dass Verantwortung und Wachstum nicht miteinander vereinbar sind, sondern im Gegenteil, sich sogar zwingend gegenseitig ausschließen.

Ist das tatsächlich der Fall? Hat Wirtschaftswachstum zu lange unser Verständnis einer modernen Wirtschaft geprägt? War und ist es fälschlicherweise die maßgebliche Messgröße für die Leistungsfähigkeit von Wirtschaftsräumen und Grundlage wichtiger Entscheidungen von Investoren, Unternehmen und politischen Akteuren?

Die Antwort darauf lautet: Nein. Eine wachsende Wirtschaft ist auch weiterhin im positiven Sinne Ausdruck von ökonomischem Erfolg, zunehmendem Wohlstand und vom Fortschritt einer Gesellschaft sowie ihrer Zukunftsfähigkeit. Für einen Wirtschaftsraum wie Europa im Allgemeinen und einen exportorientierten Wirtschaftsstandort wie Deutschland im Speziellen bleiben qualitatives und quantitatives Wachstum unabdingbar.

Und mehr noch: Eine nachhaltig wachsende Wirtschaft war vielleicht noch nie so elementar, um den schrittweisen Wandel unserer Industrien und ganzer Volkswirtschaften hin zu einem klimaverträglichen und ressourcenschonenden Wirtschaften zu ermöglichen.

Nicht nur bietet ein wachsendes Unternehmen Karriereöglichkeiten und Entwicklungsperspektiven und ist so für Mitarbeitende und neue Talente attraktiver. Gerade mit Blick auf den Fach- und Arbeitskräftemangel ein zunehmend wichtiger Faktor.

Erst Wachstum ermöglicht auch kapitalintensive Investitionen – sei es in neue Geschäftsmodelle und zur Erschließung neuer Märkte. Oder ganz speziell in die Forschung und Entwicklung von Zukunftstechnologien, die ein nachhaltigeres Wirtschaften überhaupt erst ermöglichen. Und dabei möchte ich betonen:

»Erst Wachstum ermöglicht kapitalintensive Investitionen – ganz speziell in Forschung und Entwicklung von Zukunftstechnologien.«

Oliver Zipse

- ▶ leitet seit August 2019 als Vorstandsvorsitzender die BMW AG mit mehr als 150 000 Beschäftigten weltweit. Sein Vertrag wurde gerade um zwei Jahre verlängert bis August 2026.
- ▶ »schwimmt gern gegen den Strom«, hat die »Frankfurter Allgemeine Zeitung« aktuell über ihn geschrieben. Tatsächlich plädiert Oliver Zipse in besonderem Maß für Technologieoffenheit. »Wir bei BMW ticken anders«, hat er seine Rede bei der Hauptversammlung im Mai eröffnet. BMW baut weiter Benzinmotoren und forscht weiter an Wasserstoffantrieben.
- ▶ trat 1991 als Trainee in die BMW AG ein und blieb sein ganzes Berufsleben im Konzern, unter anderem als Leiter Technische Planung und 2012 Leiter Konzernplanung und Produktstrategie.
- ▶ studierte Informatik und Mathematik an der University of Utah und schloss das Studium des Allgemeinen Maschinenbaus in Darmstadt als Diplom-Ingenieur ab. Seit 2022 lehrt er als Honorarprofessor an der TU München.
- ▶ ist am 7. Februar 1964 in Heidelberg geboren. Verheiratet ist Zipse mit der Japanerin Kaori und hat zwei erwachsene Söhne.

Nachhaltiges Wachstum hat nicht nur eine Farbe, sondern viele. Windräder, Wärmepumpen, Elektroautos – all solche »grünen« Produkte werden von Technikern und Ingenieurinnen entwickelt und von »Blau Männern« in Fabriken gefertigt.

Daher muss nachhaltiges Wachstum in all seinen Farben und Facetten ein Kernelement von Wirtschafts- und Industriepolitik sein und bleiben. Diese Überzeugung und ein entsprechendes öffentliches und unmissverständliches Bekenntnis zum Wachstum fehlt in der politischen Debatte hierzulande.

Dabei geht es nicht um die BIP-Statistik einzelner Quartale. Es geht um die grundlegende Frage, welche Rolle Wachstum in Deutschland einnehmen soll, und um die Außenwirkung einer solchen Entscheidung. Kein Investor entscheidet sich für ein Engagement an einem Wirtschaftsstandort, der keine Wachstumsambition formuliert. Stattdessen werden Investitionen in vielversprechenderen Wirtschaftsräumen getätigt und es droht im schlimmsten Fall eine Spirale der Deindustrialisierung.

Mit einem Bekenntnis zu nachhaltigem Wachstum einhergehen muss – auch in Europa – ein mentaler Paradigmenwechsel: Statt vorschnell Verbote zu erlassen und Exit-Strategien zu formulieren, sollten wir uns mit gleicher Intensität auf Entry-Strategien konzentrieren, die Wachstum ermöglichen. Denn etwas einfach nur zu verbieten und zu beenden, heißt noch lange nicht, dass automatisch etwas Neues, Besseres entsteht.

Zudem bedeutet Wachstum heute nicht mehr automatisch einen steigenden ökologischen Fußabdruck – sei es bei CO₂-Emissionen oder Ressourcenverbrauch. Wo, wenn nicht in Deutschland als Hochtechnologie-Standort, beherrschen wir die Kunst, dass wir zum Beispiel innovative Fertigungsmethoden entwickeln und anwenden, die zu effizienteren Produktionsprozessen führen.

Statt immer neuer Verbote sollte es also positive Anreize für einen verantwortungsbewussten Wachstumspfad mit Elementen der Kreislaufwirtschaft und CO₂-Reduzierung geben. Für einen Pfad, der die Stärken des Standorts Deutschland mit Forschung, Wissenschaft und Industrie aufgreift und sie als erfolgskritische Faktoren fördert. Hierfür die richtigen Weichen zu stellen, das ist eine originäre und dringliche Aufgabe der Politik. ■

Bakterien unschädlich machen – Resistenzen verhindern

Parodontitis gilt als Volksleiden. Fast die Hälfte aller Erwachsenen in Deutschland ist von der Erkrankung des Zahnhalteapparates betroffen. Ein neuer Präventions- und Therapieansatz soll diesen 35 Millionen Menschen helfen – und Antibiotikaresistenzen vermeiden.

Von Mandy Bartel



Den Halt verlieren: Parodontitis gilt als die häufigste Ursache für Zahnverlust im Erwachsenenalter.

Es beginnt mit Zahnfleischbluten. Unbehandelt führt Parodontitis nicht nur zum Verlust von Zähnen, sondern trägt vermutlich auch zu anderen schwerwiegenden Krankheiten bei. Diabetes, Rheuma, Alzheimer oder chronische Darmerkrankungen lassen sich unter anderem auf dauerhafte bakteriell verursachte Entzündungen des Zahnhalteapparats zurückführen. Deshalb werden schwere Fälle der Parodontitis in der Regel mit Antibiotika behandelt. Doch das bringt gleich zwei Probleme mit sich. Erstens: Solche Medikamente töten nicht nur schädliche, sondern auch nützliche Bakterien der Mundflora ab. Zweitens: Die hohen Fallzahlen der Krankheit und der damit verbundene weitreichende Einsatz von Antibiotika tragen zur Entstehung von Resistenzen bei. Die Auswirkungen zeigt der Global Research on Antimicrobial Resistance (GRAM) Report auf: 2019 starben weltweit 1,27 Millionen Menschen an multiresistenten Keimen, gegen die kein Mittel mehr half. Solche Risiken will die Fraunhofer-Ausgründung PerioTrap Pharmaceuticals GmbH zusammen mit Partnern minimieren.

Wirkung hemmen statt abtöten

Im Projekt »Paropaste« entwickeln die Forschenden gemeinsam einen völlig neuen Ansatz, um Parodontitis nicht nur zu behandeln, sondern auch vorzubeugen: Statt die krankmachenden Bakterien im Mund abzutöten, soll ein spezifischer Wirkstoff sie lediglich unschädlich machen. Dafür hemmt er ein Enzym, das nahezu ausschließlich in diesen Bakterien vorkommt. Ohne die enzymatische Wirkung können die Erreger keinen Schaden mehr anrichten, sterben aber auch nicht ab. Das Prinzip erläutert Dr. Mirko Buchholz, wissenschaftlicher Leiter und Mitgründer der PerioTrap Pharmaceuticals GmbH: »Klassische Antibiotika hemmen das grundsätzliche Wachstum aller guten und schlechten Keime. Wir wollen mit einem sogenannten Patho-Blocker nur die krankmachende Wirkung gefährlicher Bakterien hemmen. So bleibt das natür-

liche Mikrobiom im Mundraum erhalten und es entstehen keine Nischen, in denen sich andere Erreger ansiedeln können.«

Die innovative Behandlungsmethode wurde unter anderem in der Außenstelle Molekulare Wirkstoffbiochemie und Therapieentwicklung des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI erdacht. Im Jahr 2019 erfolgte die Ausgründung des Start-ups PerioTrap Pharmaceuticals GmbH in Halle (Saale). Im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes arbeiten die Partner nun daran, die Substanz anhand komplexerer mikrobiologischer Systeme weiter zu optimieren. Dazu entwickeln sie neue bioanalytische Methoden, testen die lokale Bioverfügbarkeit und untersuchen den Wirkstofftransport und die Toxizität. »Wir haben bereits sehr viele Daten aus In-vitro-Experimenten«, so Buchholz. »Sie belegen, dass die chemische Verbindung gut verträglich und bis zu einer sehr hohen Konzentration unbedenklich ist.« Bei der Entwicklung der richtigen Formulierung und den dazugehörigen Scaling-up-Prozessen erhält das Projektteam Unterstützung vom Hallenser Dienstleister Skinomics GmbH.

Eine der großen Herausforderungen ist die Darreichungsform: Wie lässt sich der Wirkstoff direkt im Mund applizieren, sodass er lange genug an den erforderlichen Stellen verbleibt, ohne gleich heruntergeschluckt zu werden? Dafür holte sich PerioTrap die materialwissenschaftliche Expertise eines weiteren Fraunhofer-Instituts aus unmittelbarer Nachbarschaft an Bord. Am Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle untersuchen Forschende nicht nur, wie sich unterschiedliche Formulierungen gut verteilen lassen, wie gut sie haften und wie leicht sie den Wirkstoff freigeben, sondern auch, wie sie mit dentalem Gewebe oder Nahrungsmitteln interagieren. Das soll unerwünschte Nebenwirkungen wie Verfärbungen vermeiden. Basierend auf dem Wirkstoff und der Formulierung entsteht derzeit ein Zahngel, das Entzündungen des Zahnfleisches vorbeugen soll.

Zur Behandlung fortgeschrittener Fälle von Parodontitis entwickelten die Partner in einem früheren Projekt zusammen

mit Prof. Karsten Mäder aus der Abteilung pharmazeutische Technologie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg einen weiteren Ansatz. Dabei wird ein zugelassener antibiotischer Wirkstoff über kurze Fäden direkt in die entzündeten Zahntaschen eingebracht. Die Fäden werden abgebaut und das Antibiotikum lokal und über lange Zeit freigesetzt. Diese Strategie ermöglicht einen gezielten und sparsamen Einsatz von Antibiotika. Da die Fäden nur in den Zahnfleischtaschen wirken und den Magen-Darm-Trakt nicht erreichen, ist auch die Wahrscheinlichkeit von Resistenzen sehr niedrig.

Prophylaxe und Therapie

Wie gut sich die beiden Ansätze ergänzen, erklärt Buchholz: »Der neue enzymhemmende Wirkstoff wirkt eher prophylaktisch, indem er zum Beispiel in einem anhaftenden Gel speziell die krankmachenden Bakterien unschädlich macht und somit die Ausbildung des für Parodontitis ursächlichen toxischen Biofilms verhindert.« Sei die Krankheit hingegen bereits fortgeschritten und der Leidensdruck hoch, »helfen die Antibiotikafäden an Ort und Stelle und verlängern den Therapieerfolg einer zahnärztlichen Behandlung, ohne den gesamten Organismus mit Antibiotika zu belasten«.

Derzeit arbeitet das Team an der Zulassung beider Verfahren. Weil die Antibiotikafäden mit einem bekannten Wirkstoff versetzt sind, könnten sie bereits in zwei bis drei Jahren verfügbar sein. Zulassungsprozesse für Arzneimittel mit gänzlich neuen Wirkstoffen dauern hingegen typischerweise sieben Jahre oder länger. Darum plant PerioTrap zusätzlich zum laufenden Projekt, eine Zahnpasta mit deutlich geringerer Dosierung zur Erhaltung und Pflege der Mundgesundheit als Kosmetikum schneller auf den Markt zu bringen. So könnten die Mikrobiom-erhaltenden Eigenschaften des neuen Ansatzes schon in absehbarer Zeit vielen Menschen zugutekommen – und künftig aufwendige Parodontitis-Behandlungen vermeiden. Denn: Eine gute Vorsorge ist besser als die beste Behandlung. ■

Schilder hoch!

Die Nachrichtenbilder zeigen Panzer, Kampfdrohnen und krachende Detonationen. Doch gekämpft wird schon lange nicht mehr nur auf dem Schlachtfeld. Der moderne Krieg findet auch im Netz statt. Wie sich die NATO für den Ernstfall rüstet.

Von Dr. Sonja Endres



Ein starkes Team: Martin Lambertz (o.) und Jan-Niclas Hilgert vom Fraunhofer FKIE. 2018 gewannen die beiden den Preis für den besten wissenschaftlichen Beitrag zum »Digital Forensic Research Workshop USA«, einer der weltweit führenden Konferenzen für digitale Forensik.

Die Attacken im Cyberraum sind lautlos. Oft werden sie gar nicht bemerkt – und sind dann umso verhängnisvoller. Heimlich fließen Daten und Informationen auf feindliche Server, werden Sicherheitslücken ausgenutzt, wird Schadsoftware in IT-Systeme eingeschleust: bereit, jederzeit loszuschlagen.

Die Bedrohung sei so hoch wie nie zuvor, hat das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik in seinem Lagebericht für das Jahr 2023 festgestellt. Und Bundesinnenministerin Nancy Faeser warnt: »In diesem Jahr mit der Europawahl und weiteren Wahlen müssen wir uns gegen Hackerangriffe, Manipulationen und Desinformationen besonders wappnen.« (siehe Interview auf S. 46)

Die Verteidigungsfähigkeit im Cyberwar testet die NATO bei der weltweit größten Cybersicherheitsübung »Locked Shields«. 3500 IT-Spezialistinnen und -Spezialisten aus 32 Mitgliedstaaten nahmen diesmal teil – so viele wie nie zuvor. Seit drei Jahren mit dabei: ein Team des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE.

Zum Schlafen blieb keine Zeit

Zusammen mit rund 150 Expertinnen und Experten aus der Bundeswehr, der Bundespolizei, verschiedenen Bundesbehörden, Industrie und Wirtschaft trotzten die vier Fraunhofer-Wissenschaftler den Angriffswellen des Red Teams, das in der estnischen Hauptstadt Tallinn saß – Hacker im Auftrag der NATO, die darauf spezialisiert sind, in feindliche Systeme einzudringen. Das deutsche Blue Team bezog in einer Halle auf dem ehemaligen Kernkraftwerksgelände Kalkar am Niederrhein Quartier, das heute als Kon-

gresszentrum und Vergnügungspark genutzt wird. »Die Fahrgeschäfte konnten wir allerdings nicht ausprobieren, dafür blieb keine Zeit«, scherzt Jan-Niclas Hilgert, Cyber-Forensiker am Fraunhofer FKIE. Während der heißen Angriffsphase kamen die IT-Profis noch nicht mal zum Schlafen, die Nacht wurde durchgemacht – zusammen mit den Kolleginnen und Kollegen des Partnerlands Singapur, die dieses Jahr dem deutschen Team zur Seite standen.

Der Aufwand, mit dem das NATO Cooperative Cyber Defense Center of Excellence CCDCOE »Locked Shields« veranstaltet, ist immens. Das Szenario: Der fiktive Staat Crimsonia greift den ebenfalls erdachten Staat Berylia an, den die beryllischen Streitkräfte mithilfe der NATO verteidigen. Die insgesamt 18 Blue Teams sind auf der ganzen Welt verteilt und haben die Aufgabe, die kritische IT-Infrastruktur Berylias zu schützen, zu der unter anderem die Energieversorgung, die Telekommunikation, Krankenhäuser und das Bankwesen, aber auch die IT-Netze des Militärs gehören. Die eingesetzten Mittel und Methoden sind brandaktuell und orientieren sich an echten Angriffen. »Es gibt sogar Leute, die Userinnen und User imitieren, die in ihren Phishing-Mails schon mal auf den falschen Link klicken – alles wie im echten Leben«, erzählt Hilgerts Kollege Martin Lambertz und schmunzelt. Die Cyberangriffe sind flankiert von Desinformationskampagnen und Fake News, die gesondert im sogenannten »Media Track« der Übung bekämpft werden.

Die Blue Teams stehen im Wettbewerb und müssen sich gegen die gleichen Angriffe wehren. Wer die Netze und IT-Systeme am besten verteidigt, bekommt die meisten Punkte. Extrapunkte gibt es für diejenigen, die beispielsweise eine Schadsoftware als Erste identifizieren und es andere Teams wissen lassen. ►

Cyber-Angriffe in Echtzeit erkennen und abwehren: In der Übung »Locked Shields« wird das seit 2010 jährlich trainiert.

»Locked Shields«

3500

IT-Spezialistinnen und
-Spezialisten aus
32 Mitgliedstaaten
nahmen teil.

Hilgert: »Das befördert den Austausch zwischen den Teams, im Ernstfall sollen wir uns schließlich gegenseitig unterstützen.« Die Kommunikation lief über die Malware Information Sharing Platform MISP, die auch in der Realität von zahlreichen Organisationen und Behörden weltweit genutzt wird.

Hacker-Angriffe auf Flugüberwachung und Kraftwerke

Zwei Wochen dauerte die komplette Übung. Das »Live Fire«, währenddessen die Teams in Echtzeit die Angriffe abwehren mussten, konzentrierte sich auf zwei Tage. Zuvor konnten sich die Teilnehmenden in der »Familiarization Period« mit allen Systemen und Anwendungen vertraut machen. »Allerdings haben nicht nur wir, sondern zeitgleich auch das Red Team darauf Zugriff erhalten – und bereits ein paar Schwachstellen und Hintertüren platziert«, erklärt Hilgert. Und Lambertz ergänzt: »Wenn wir sie nicht schnell genug identifizieren und entfernen konnten, wurden sie gleich in der Anfangsphase gnadenlos für Angriffe genutzt.«

Die hagelten, nachdem das »Game-Netz« geöffnet war, pausenlos auf das Blue Team nieder. Um den Überblick zu behalten, setzten die Cyber-Spezialistinnen und -Spezialisten ein Dashboard auf, also eine grafische Benutzeroberfläche zur Visualisierung von Daten und Systemen. Lambertz: »Da hat man sofort gesehen: Wenn das grüne Licht brannte, war alles okay. Wurde es rot, mussten wir dringend eingreifen.«

Unterteams übernahmen die Verantwortung für bestimmte Schutzzonen, beispielsweise für die Energieversorgung, das Kommunikations- oder das Regierungsnetz. »Ich war für die Armed Forces, also das Militär, zuständig«, berichtet Hilgert. Die Angriffe zielten hier unter anderem auf die Flugüberwachung. »Plötzlich sind die Flugzeuge von der Anzeige verschwunden – eine Horrorvorstellung für jeden Fluglotsen. Der Kollege von der Bundeswehr hat das aber wieder gut in den Griff bekommen.«

Im Bereich Energieversorgung wurden auch simulierte Kraftwerke attackiert. Lambertz: »Vor zwei Jahren hatte das Red Team sogar eine Übersichtswand mit den einzelnen Kraftwerken in seinem Quartier in Tallinn montiert. War es ihnen gelungen, Zugriff auf eine Kraftwerkssteuerung zu erhalten, haben sie es hier tatsächlich explodieren lassen und es gab ein kleines Funken-Gewitter, das live gestreamt wurde. Da konnte dann jeder sehen, welches Blue Team nicht so gut performt hatte.« Das deutsche Team konnte sein Kraftwerk erfolgreich verteidigen. Im Kernkraftwerk Kalkar wären die IT-Profis allerdings auch bei

realen Angriffen immer geschützt gewesen – es ist aus politischen Gründen und Sicherheitsbedenken nie ans Netz gegangen.

Nicht nur die Ziele, auch die Art der Angriffe waren sehr unterschiedlich. Die Hacker des Red Teams setzten unter anderem zahlreiche Defacements ein, bei denen die Web-Adressen häufig angesteuerter Seiten gekapert werden, zum Beispiel die Seiten der Regierung oder der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten. Hilgert: »So konnten dann auf vermeintlich vertrauenswürdigen Websites Desinformationen veröffentlicht werden und die Bevölkerung verunsichern.« Auf diesem Weg ist es zudem leicht möglich, Schadsoftware zu verbreiten. Ein Klick auf die gefälschte Seite, und ein Ausführungsprogramm öffnet sich auf dem Rechner des ahnungslosen Users.

Um das Auffinden, die Analyse und das Bekämpfen von Schadsoftware kümmerte sich ein Spezialteam im »Forensik Track« – das eigentliche Fachgebiet von Hilgert und Lambertz am Fraunhofer FKIE. Hier unterstützen sie unter anderem Staatsanwaltschaft und Polizei bei der Auswertung von Servern und Festplatten, beispielsweise von großen Ransomware-Gruppen, die sich Zugang zu Daten von Unternehmen oder Institutionen verschaffen, sie verschlüsseln und die Opfer dann erpressen. Hilgert gibt zu: »Es ist ein bisschen aufregender, in der Live-Phase seine Systeme zu verteidigen, das haben wir ja sonst nicht. Nichts gegen die Forensik, die ist super. Aber wir sind ja hier, um neue Sachen zu lernen.«

Das Ranking bleibt geheim

Die Zusammenarbeit mit der Forensik, aber auch mit allen anderen Spezialteams wie beispielsweise dem Firewall-Team, das sich erfolgreich um den Schutz der Netzwerkinfrastruktur kümmerte, habe sehr gut funktioniert. Hilgert: »Da war es vorteilhaft, dass wir erstmals alle zusammen in einer großen Halle saßen. Das hat den gegenseitigen Austausch befördert.« So habe man den Jubel der anderen, aber auch deren Verzweiflung hautnah miterleben können.

Die Teilnahme an »Locked Shields« macht sich bezahlt, sind sich Lambertz und Hilgert einig. Für ihre Verteidigungsarbeit erhielten sie sehr viel mehr Punkte als bei den Übungen zuvor. Auch in der Gesamtwertung überzeugte das deutsch-singapurische Duo. Welchen Platz es im Wettbewerb belegte, darf jedoch nicht verraten werden – das Ranking und die genauen Punktzahlen sind top secret. Schließlich sollen Angreifer keine Hinweise erhalten, wo das NATO-Schutzschild noch Schwachstellen zeigt. ■

Auch IT-Profis aus der Industrie unterstützen das deutsche Team.



»Es war vorteilhaft, dass wir erstmals alle zusammen in einer großen Halle saßen. Das hat den gegenseitigen Austausch befördert.«

Jan-Niclas Hilgert, Fraunhofer FKIE

Staffellauf des Wissens

Aufbruch:

***wird KI uns
verändern?***

Hilgert: »Das befördert den Austausch zwischen den Teams, im Ernstfall sollen wir uns schließlich gegenseitig unterstützen.« Die Kommunikation lief über die Malware Information Sharing Platform MISP, die auch in der Realität von zahlreichen Organisationen und Behörden weltweit genutzt wird.

Hacker-Angriffe auf Flugüberwachung und Kraftwerke

Zwei Wochen dauerte die komplette Übung. Das »Live Fire«, währenddessen die Teams in Echtzeit die Angriffe abwehren mussten, konzentrierte sich auf zwei Tage. Zuvor konnten sich die Teilnehmenden in der »Familiarization Period« mit allen Systemen und Anwendungen vertraut machen. »Allerdings haben nicht nur wir, sondern zeitgleich auch das Red Team darauf Zugriff erhalten – und bereits ein paar Schwachstellen und Hintertüren platziert«, erklärt Hilgert. Und Lambertz ergänzt: »Wenn wir sie nicht schnell genug identifizieren und entfernen konnten, wurden sie gleich in der Anfangsphase gnadenlos für Angriffe genutzt.«

Die hagelten, nachdem das »Game-Netz« geöffnet war, pausenlos auf das Blue Team nieder. Um den Überblick zu behalten, setzten die Cyber-Spezialistinnen und -Spezialisten ein Dashboard auf, also eine grafische Benutzeroberfläche zur Visualisierung von Daten und Systemen. Lambertz: »Da hat man sofort gesehen: Wenn das grüne Licht brannte, war alles okay. Wurde es rot, mussten wir dringend eingreifen.«

Unterteams übernahmen die Verantwortung für bestimmte Schutzzonen, beispielsweise für die Energieversorgung, das Kommunikations- oder das Regierungsnetz. »Ich war für die Armed Forces, also das Militär, zuständig«, berichtet Hilgert. Die Angriffe zielten hier unter anderem auf die Flugüberwachung. »Plötzlich sind die Flugzeuge von der Anzeige verschwunden – eine Horrorvorstellung für jeden Fluglotsen. Der Kollege von der Bundeswehr hat das aber wieder gut in den Griff bekommen.«

Im Bereich Energieversorgung wurden auch simulierte Kraftwerke attackiert. Lambertz: »Vor zwei Jahren hatte das Red Team sogar eine Übersichtswand mit den einzelnen Kraftwerken in seinem Quartier in Tallinn montiert. War es ihnen gelungen, Zugriff auf eine Kraftwerkssteuerung zu erhalten, haben sie es hier tatsächlich explodieren lassen und es gab ein kleines Funken-Gewitter, das live gestreamt wurde. Da konnte dann jeder sehen, welches Blue Team nicht so gut performt hatte.« Das deutsche Team konnte sein Kraftwerk erfolgreich verteidigen. Im Kernkraftwerk Kalkar wären die IT-Profis allerdings auch bei

realen Angriffen immer geschützt gewesen – es ist aus politischen Gründen und Sicherheitsbedenken nie ans Netz gegangen.

Nicht nur die Ziele, auch die Art der Angriffe waren sehr unterschiedlich. Die Hacker des Red Teams setzten unter anderem zahlreiche Defacements ein, bei denen die Web-Adressen häufig angesteuerter Seiten gekapert werden, zum Beispiel die Seiten der Regierung oder der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten. Hilgert: »So konnten dann auf vermeintlich vertrauenswürdigen Websites Desinformationen veröffentlicht werden und die Bevölkerung verunsichern.« Auf diesem Weg ist es zudem leicht möglich, Schadsoftware zu verbreiten. Ein Klick auf die gefälschte Seite, und ein Ausführungsprogramm öffnet sich auf dem Rechner des ahnungslosen Users.

Um das Auffinden, die Analyse und das Bekämpfen von Schadsoftware kümmerte sich ein Spezialteam im »Forensik Track« – das eigentliche Fachgebiet von Hilgert und Lambertz am Fraunhofer FKIE. Hier unterstützen sie unter anderem Staatsanwaltschaft und Polizei bei der Auswertung von Servern und Festplatten, beispielsweise von großen Ransomware-Gruppen, die sich Zugang zu Daten von Unternehmen oder Institutionen verschaffen, sie verschlüsseln und die Opfer dann erpressen. Hilgert gibt zu: »Es ist ein bisschen aufregender, in der Live-Phase seine Systeme zu verteidigen, das haben wir ja sonst nicht. Nichts gegen die Forensik, die ist super. Aber wir sind ja hier, um neue Sachen zu lernen.«

Das Ranking bleibt geheim

Die Zusammenarbeit mit der Forensik, aber auch mit allen anderen Spezialteams wie beispielsweise dem Firewall-Team, das sich erfolgreich um den Schutz der Netzwerkinfrastruktur kümmerte, habe sehr gut funktioniert. Hilgert: »Da war es vorteilhaft, dass wir erstmals alle zusammen in einer großen Halle saßen. Das hat den gegenseitigen Austausch befördert.« So habe man den Jubel der anderen, aber auch deren Verzweiflung hautnah miterleben können.

Die Teilnahme an »Locked Shields« macht sich bezahlt, sind sich Lambertz und Hilgert einig. Für ihre Verteidigungsarbeit erhielten sie sehr viel mehr Punkte als bei den Übungen zuvor. Auch in der Gesamtwertung überzeugte das deutsch-singapurische Duo. Welchen Platz es im Wettbewerb belegte, darf jedoch nicht verraten werden – das Ranking und die genauen Punktzahlen sind top secret. Schließlich sollen Angreifer keine Hinweise erhalten, wo das NATO-Schutzschild noch Schwachstellen zeigt. ■

Auch IT-Profis aus der Industrie unterstützen das deutsche Team.



»Es war vorteilhaft, dass wir erstmals alle zusammen in einer großen Halle saßen. Das hat den gegenseitigen Austausch befördert.«

Jan-Niclas Hilgert, Fraunhofer FKIE

Staffellauf des Wissens

Umbruch und
Aufbruch:
Lieber *Herr*
Prof. Hanselka –
wie ***wird KI unsere***
Welt verändern?

Staffellauf des Wissens, Folge 12

Umbruch und Aufbruch: Lieber Herr Prof. Hanselka – Wie wird KI unsere Welt verändern?

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. Holger Hanselka**, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, auf eine Frage von **Prof. Michael Lauster**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT.

Umbruch und Aufbruch« – das beschreibt tatsächlich sehr treffend die Veränderungen, wie sie die aktuellen technologischen Entwicklungen aus der KI-Forschung und -Anwendung bereits hervorrufen und noch hervorrufen werden. Dafür braucht es keinen Blick in die Glaskugel: Die Bandbreite der Anwendung von KI-Technologien bietet bereits heute ein breites Spektrum an Potenzialen – sei es in der Robotik, bei der Optimierung von Logistik-Netzwerken oder in der Medizin.

Viele Institute der Fraunhofer-Gesellschaft befassen sich bereits seit langer Zeit mit diversen wegweisenden KI-Anwendungen, inklusive generativer KI. Damit leisten wir einen maßgeblichen Beitrag für eine europäische KI-Landschaft sowie für ein vertrauenswürdigen und leistungsfähiges Angebot an KI-Plattformen und -Infrastrukturen. Dafür setze ich mich auch persönlich ein – beispielsweise im Zukunftsrat des Bundeskanzlers oder als Mitglied der neu gegründeten Engagement Group Research7+ im Kontext von G7. Für uns liegt ein klares Ziel in der Etablierung einer starken und unabhängigen europäischen KI-Landschaft, die den europäischen

Werten und Interessen entspricht und die Wettbewerbsfähigkeit Europas im digitalen Zeitalter stärkt.

Die wachsende und zunehmend innovative Verwendung von KI-Technologien und -Systemen markiert aktuell den Beginn einer neuen Ära, in der KI auch als Katalysator und als Querschnittstechnologie für Veränderungen und Transformationen wirkt:

1. KI macht uns schneller

Mit Maschinellem Lernen und KI können große Datenmengen rasch analysiert und komplexe Muster präzise erkannt werden. Dadurch sind solche Systeme auch in der Lage, kontinuierlich dazuzulernen und sich zu verbessern. So können neue Erkenntnisse und Zusammenhänge schneller gewonnen werden, was wiederum zu einem höheren Innovationstempo führt und wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt drastisch beschleunigt.

2. KI steigert die Wirtschaftsleistung

KI-Technologien können nicht nur zur Automatisierung von Routineaufgaben eingesetzt werden, sondern – soweit ausreichend Rechenkapazitäten vorhanden sind – auch komplexe Aufgaben und Prozesse 24/7 erledigen. Dadurch kann die Produktion erhöht werden, bei gleichzeitiger Verringerung der Fehlerquote. KI-Systeme und Roboter würden somit erheblich zur Steigerung der gesamten Wirtschaftsleistung beitragen – ohne dafür Ruhepausen oder Gehälter zu benötigen. Gerade in Zeiten von Fachkräftemangel ein großes Potenzial, um menschliche Arbeitskraft für höherwertige Tätigkeiten und das Managen von KI-Systemen einzusetzen.

3. KI schafft neue Geschäftsmodelle und Branchen

Nicht nur entwickeln sich KI-Technologien rasant weiter und bieten neue Möglichkeiten für Automatisierung, Analyse und Entscheidungsfindung, auch die Nachfrage nach KI-gestütz-



Prof. Holger Hanselka ist seit dem 15. August 2023 Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

ten Produkten und Dienstleistungen wächst stetig. Mit unternehmerischem Denken und Handeln sowie einem effektiven Wissenstransfer zwischen Forschungsakteuren und Unternehmen können, müssen und werden ganz neue (disruptive) Geschäftsmodelle und Branchen entstehen. Hier gibt es jedoch noch einiges zu tun, beispielsweise für die Nutzung von (unternehmensspezifischen) Trainingsdaten in sicheren Datenräumen, Lösungen im Hinblick auf den derzeit hohen Ressourcenverbrauch für das Modell-Training und -Hosting sowie das Finetuning für zuverlässige Anwendungen.

Durch die wachsenden Möglichkeiten unserer KI-Systeme sind auch bereits akute Probleme entstanden, wie es sich aktuell in Fakes, missbräuchlicher Nutzung, schlechter Datenqualität und hohem Ressourcenbedarf (Energie, Wasser, Mikroelektronik, Fachkräfte...) zeigt. Hier ist zügiges Handeln angesagt, um jetzt sowohl die technologischen als auch die gesellschaftlichen Weichen für eine Zukunft zu stellen, in der KI zuverlässig, verantwortungs- und vertrauensvoll sowie werteorientiert angewendet wird. Wenig nütz-

lich sind hingegen diffuse Ängste und unkonkrete Debatten über hypothetische Worst-Case-Szenarien in einer fernen Zukunft.

Von diesen Herausforderungen dürfen wir uns auch nicht entmutigen lassen oder gar das Feld räumen. Im Gegenteil, Deutschland und Europa müssen schnell und entschlossen handeln, um innovative KI-Technologien – auch jenseits der reinen generativen KI und ganz großen Sprachmodelle – sowohl zügig als auch sicher in die breite (industrielle) Anwendung zu überführen. Verlieren wir jetzt den Anschluss, drohen (noch größere) Abhängigkeiten und Innovationsrückstände durch die fortschreitende Dominanz von KI-Plattformen aus den USA und China.

Umbruch und Aufbruch: KI hat unsere Welt bereits verändert und wirkt sich auf alle Ebenen in Volkswirtschaften und Unternehmen aus. Die Verbreitung von KI-Systemen ist nicht mehr aufzuhalten, ohne dass dies einen enormen Rückschritt bei Wohlstand, Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit darstellen würde. Nun gilt es, mutig weiter zu gehen und selbst aktiv die Zukunft zu gestalten. Es liegt an uns und in unserer Verantwortung, wie unsere KI-Systeme gestaltet sein werden und für welche Zwecke wir sie nutzen.

In der nächsten Ausgabe:

Was kann Forschung in diesen Zeiten für unsere Sicherheit tun?

Desinformation

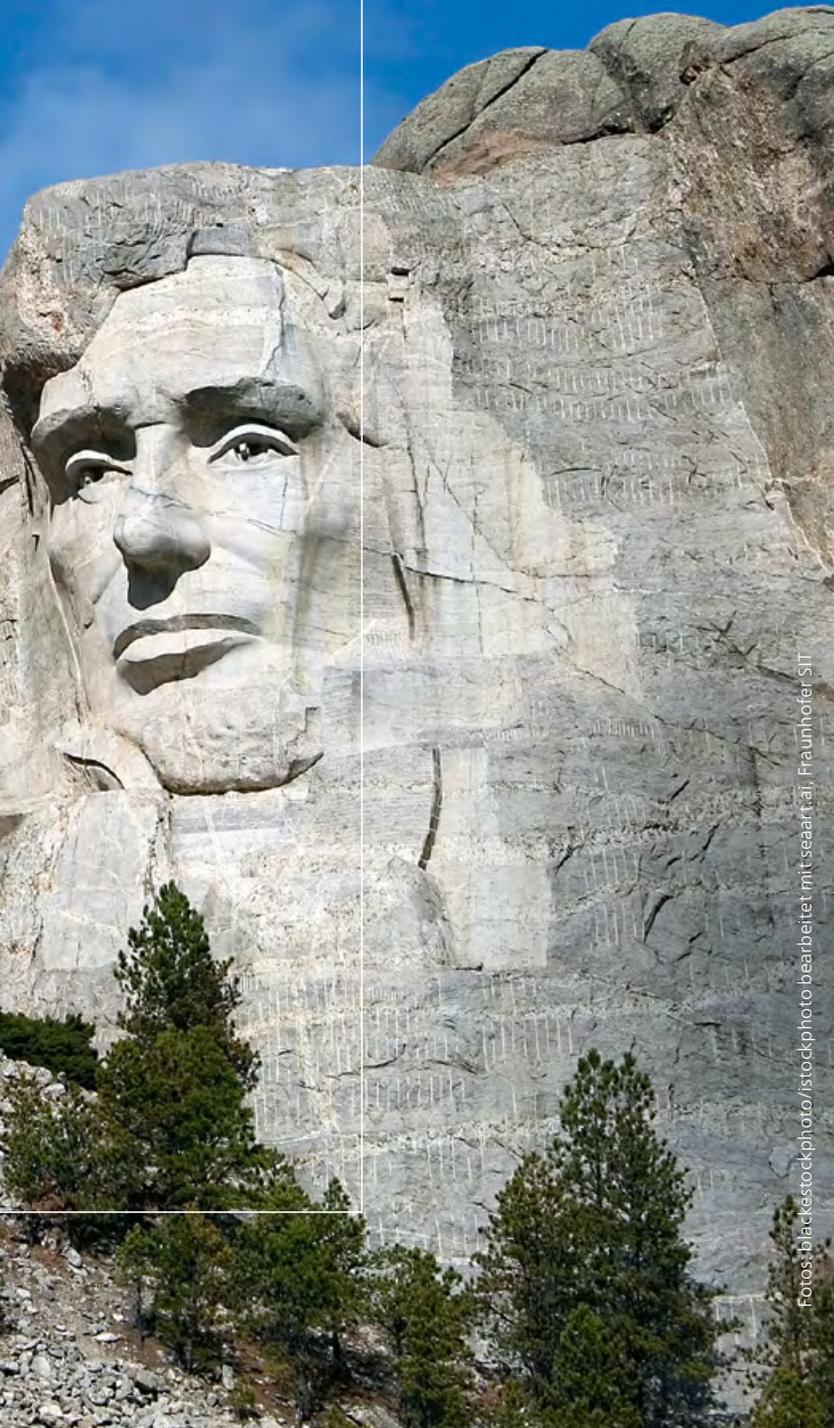
Alles Fake!?

Im Superwahljahr 2024 wird Realität, wovor Fachleute seit Jahren warnen: Deepfakes und Desinformation haben durch Künstliche Intelligenz einen riesigen Professionalisierungsschub erhalten. Und immer mehr Menschen fragen sich: Kann ich meinen Augen und Ohren noch trauen?

Von Mandy Bartel



Eigentlich müsste sich Prof. Martin Steinebach selbst kein Denkmal wie hier im Mount Rushmore National Memorial setzen, denn die Expertise des Mediaforensikers ist bei Politik und Wirtschaft gefragt. Für unser Magazin tut er es trotzdem – dank Deepfake-Technologien.



Fotos: blackstockphoto/istockphoto bearbeitet mit seaart.ai, Fraunhofer SIT

»Kaum jemand hätte gedacht, dass sich die Fälschungsmethoden für Deepfakes so rasend schnell entwickeln würden.«

Prof. Martin Steinebach, Fraunhofer SIT

Bundeskanzler Scholz verkündet in einer Ansprache das Verbot der AfD. Donald Trump wird von Polizisten festgenommen. Der ukrainische Präsident Wolodymyr Selenskyj ruft die Kapitulation seines Landes aus. So mancher würde sich über diese News freuen. Doch die Videos und Bilder dazu sind gefälscht: Deepfakes. Ebenso wie ein Tom Cruise, der kurz vor den Olympischen Spielen in Paris das Internationale Olympische Committee IOC der Korruption beschuldigt, oder Superstar Taylor Swift, die in diversen Schmuddelfilmen das Netz flutet.

Manipulationen in Bildern und Desinformation hat es schon immer gegeben – vor allem vor Wahlen. Doch noch nie war es so einfach wie heute, täuschend echte Fake-Inhalte zu erstellen: Mit den richtigen Prompts und ein bisschen Nachbearbeitung lassen sich massenweise Fotos von Situationen erstellen, die es nie gegeben hat. Mit einem einzigen Foto und einer kurzen Tonspur können Menschen Dinge in den Mund gelegt werden, die sie nie gesagt haben. Wenige Sekunden Original-Sprachaufnahmen genügen, um gefälschte Mitschnitte eines vermeintlich konspirativen Telefonats zu generieren. Vorbei die Zeit, in der man den eigenen Sinnen noch vertrauen konnte.

»Kaum jemand hätte gedacht, dass sich die Fälschungsmethoden für Deepfakes so rasend schnell entwickeln würden«, sagt Prof. Martin Steinebach. »Brauchte es vor zwei Jahren noch gute Schauspieler, um Deepfake-Videos annähernd realistisch wirken zu lassen, sehen manche Deepfakes heute fast schon besser aus als das Original.« Der Multimedia-Forensiker beschäftigt sich am Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt bereits seit vielen Jahren mit technischen Erkennungsmethoden. Er untersucht, wie verschiedene Fälschungsverfahren funktionieren, welche Spuren sie hinterlassen und wie man diese automatisiert detektieren kann. ▶

Die Zahl der Straftaten, die aus dem Ausland auf Deutschland verübt wurden, ist im vergangenen Jahr um

28%

gestiegen.

Durch die Angriffe entstand ein Schaden von

206

Milliarden Euro.

Neu ist nicht nur die Qualität, sondern auch die Quantität der Desinformationskampagnen: Die Fake-Operation »Spamouflage« eines chinesischen Netzwerks bringt es auf Hunderttausende Konten bei mehr als 50 Internetseiten – inklusive aller großen sozialen Netzwerke. Davon setzt sie Abermillionen Posts ab. Bis 2022 konzentrierten sich die Spammer darauf, pro-chinesische Narrative zu verbreiten. Doch nun fokussieren sie sich auf den US-amerikanischen Wahlkampf und streuen gezielt Desinformationen. Das Perfide: Waren die »Spamouflage«-Beiträge bislang noch durch ihre Rechtschreibfehler und abenteuerliche Grammatik schnell als Fake auszumachen und ihre Wirkung daher überschaubar, wendet KI das Blatt.

Auch Unternehmen im Visier

Wie perfekt gefälschte Welten funktionieren, zeigt ein Beispiel aus Hongkong. Dort saß ein Angestellter eines internationalen Konzerns einer komplett gefälschten Videokonferenz mit mehreren Mitarbeitenden seines Unternehmens auf – alles Fake. Die vermeintlichen Kollegen brachten ihn dazu, fast 24 Millionen Euro an die Drahtzieher zu überweisen. Diese hatten offenbar zuvor interne Videoaufzeichnungen des Unternehmens gehackt und sie mit KI-generierten Stimmen versehen. Dass er der einzig echte Mensch in der Konferenz war, bemerkte der Betrogene erst, als er danach mit seinem wirklichen Chef telefonierte.

Von solchen oder ähnlichen Szenarien könnte man in Zukunft auch hierzulande öfter hören. Im Mai hat das Bundeskriminalamt sein »Bundeslagebild Cybercrime« für 2023 veröffentlicht. Die Zahl der Straftaten, die aus dem Ausland auf Deutschland verübt wurden, ist danach im vergangenen Jahr um 28 Prozent gestiegen. Durch die Angriffe entstand ein Schaden von 206 Milliarden Euro.

Desinformation ist größtes Problem unserer Zeit

»Die bedeutendsten Herausforderungen unserer Tage sind nicht der Klimawandel, der Verlust an Biodiversität oder Pandemien. Das bedeutendste Problem ist unsere kollektive Unfähigkeit, zwischen Fakten und Fiktion zu unterscheiden«, bringt es der renommierte Club of Rome auf den Punkt – jene Organisation, die vor mehr als 50 Jahren die ökologischen Folgen des Wirtschaftswachstums angeprangert hatte. Die Konsequenzen der digitalen Manipulation sind Vertrauensverlust und eine polarisierte, verunsicherte Gesellschaft, in der Menschen sich nicht mehr über grundlegende Tatsachen einigen können. Wo Vertrauen erodiert, wird eher jenen Informationen geglaubt, die die eigene Sichtweise bestätigen. Und damit

schrumpft die Faktenbasis für einen demokratischen Diskurs weiter. So wundert es kaum, dass 81 Prozent der Deutschen denken, Desinformation bedeute eine Gefahr für die Demokratie und den gesellschaftlichen Zusammenhalt. Das zeigt die diesjährige Studie »Verunsicherte Öffentlichkeit« der Bertelsmann-Stiftung.

Die Ursprünge von Desinformationskampagnen verorten 67 Prozent der Befragten bei Protest- und Aktivistengruppen, 60 Prozent bei Bloggern und Influencerinnen sowie knapp die Hälfte bei ausländischen Regierungen. Die Studie erlaubt auch den Vergleich mit den USA. Dort sind die Verunsicherung über und die Wahrnehmung von Desinformation noch ausgeprägter als in Deutschland. Während sich 39 Prozent der befragten US-Amerikaner sorgen, selbst von Desinformation getäuscht zu werden, und daher Inhalte häufiger und kritischer überprüfen, glauben Deutsche fest an ihre eigene Urteilsfähigkeit: Das Risiko, sich selbst durch Desinformation beeinflussen zu lassen, bewerten nur 16 Prozent als hoch oder sehr hoch, 78 Prozent als gering. Diese Selbstsicherheit könnte sich mit den neuen Möglichkeiten durch KI als Trugschluss erweisen.

Wo KI helfen kann, Deepfakes zu erkennen

Die Methoden der Manipulation sind vielfältig: So werden beim Face Swapping zwei Gesichter aus unterschiedlichen Aufnahmen einfach ausgetauscht. Beim sogenannten Facial Reenactment spricht eine Person einen falschen Text ein und steuert eine Zielperson in einem echten Video mit ihren Bewegungen und Gesten fern – in Echtzeit. »Neu ist die Möglichkeit, mit Voice Cloning und Lippsynchronisation überzeugende Videos beliebiger Inhalte zu erstellen«, weiß Prof. Martin Steinebach, der Forensik-Experte vom Fraunhofer SIT: »Dazu werden existierende Videos einfach mit einer KI-generierten gefälschten Tonspur hinterlegt und die Lippenbewegungen daran angepasst.«

Um derart manipulierte Bilder oder Videos zu erkennen, setzt das Team um Steinebach auf eine Kombination aus Deep Learning und klassischer Signalverarbeitung. Mit Letzterer lassen sich weichgezeichnete oder leicht verwaschene Strukturen in einem Bild erkennen, die typisch für Deepfakes sind. »Wir messen die Frequenzanteile von bestimmten Bildausschnitten und vergleichen sie mit anderen Teilen etwa im Hintergrund. Zeigen sich Abweichungen, kann das ein Indiz für eine Fälschung sein.« Da Deepfakes immer nur einen Bereich in echten Videos austauschen, hat dieser Bereich auch abweichende statistische Eigenschaften. Diese lassen sich mit einer tiefergehenden Pixelanalyse erkennen. Wird nicht das Video selbst, sondern nur die Tonspur verändert, lassen sich ►

Verliert auch angesichts zunehmender Desinformationsflut nicht die Ruhe: Mit geschultem Urteilsvermögen und Analytik-Tools entlarvt Fraunhofer-Mann Steinebach – hier als thailändischer Buddha – Deepfakes.

Foto: Ibrahim Halil Yapici/istockphoto bearbeitet mit seaart.ai



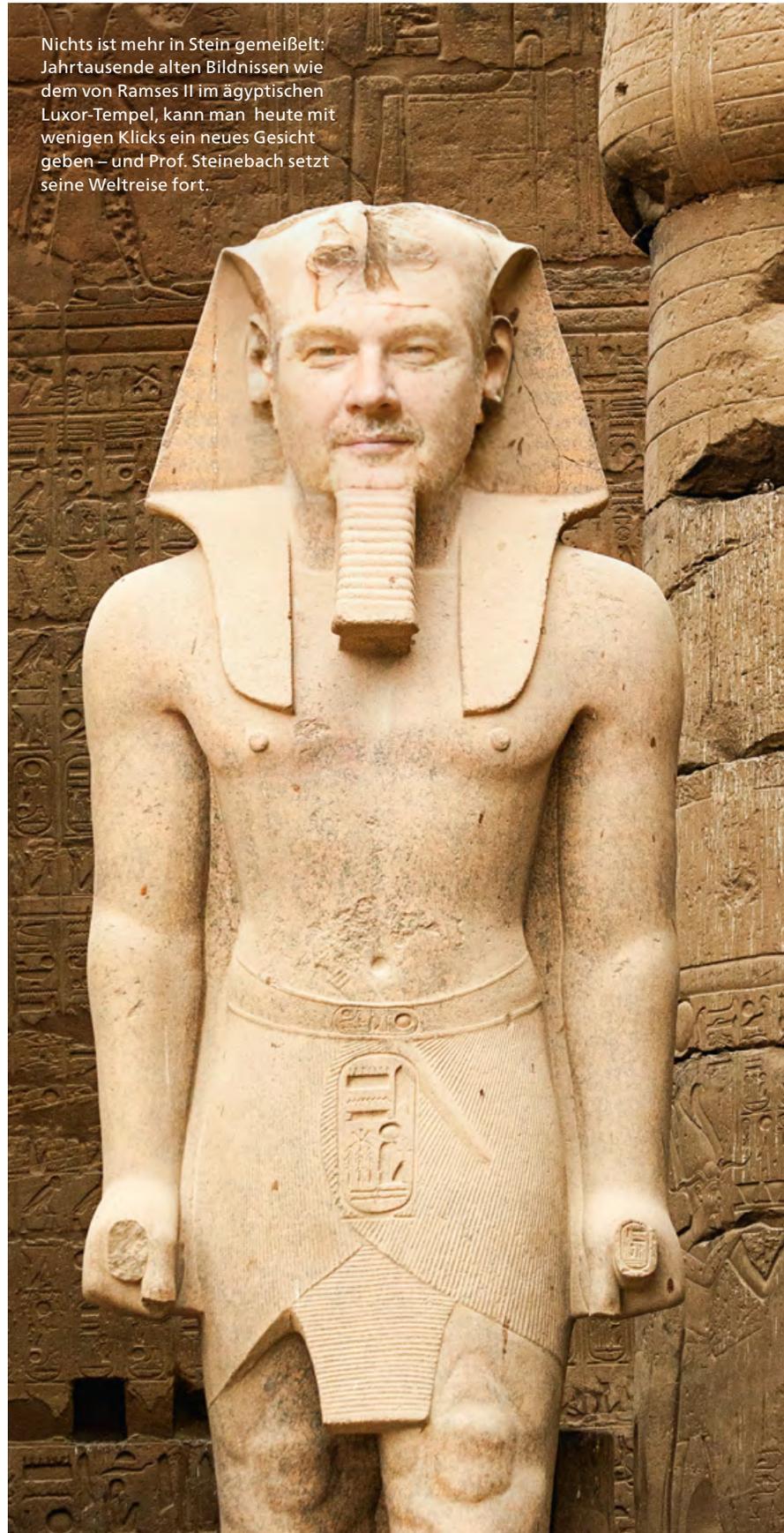
bereits bekannte Aufnahmen oft leicht mit inversen Bildersuchen wiederfinden. Dabei sind vor allem die gleiche Gestik, aber abweichende Lippenbewegungen verräterisch.

Vorsicht bei automatischen Detektoren

Zwar sind heute bereits einige KI-basierte Erkennungstools auf dem Markt, die einfache und billige technische Lösungen versprechen. Doch wie realistisch ist die Wahrheit auf Knopfdruck? Steinebach warnt davor, sich in Videokonferenzen oder Browsern auf Online-Detektoren zu verlassen. »Dazu sind die Fehlerraten noch zu hoch und es würde mehr verunsichern als nützen, wenn ständig Warnungen kämen.« Vielmehr plädiert er dafür, solche Lösungen nur in Verbindung mit mehreren geschulten Expertenaugen einzusetzen. Forensische Gutachten, in die weitere Faktoren wie Quellen, Fälschungsszenarien, Plausibilitätsprüfungen oder etwaige Umgehungsstrategien mit einfließen, bieten eine wesentlich höhere Sicherheit. Wegen ihrer Kosten werden solche Analysen jedoch meist nur in besonders sicherheitskritischen oder rechtlich relevanten Bereichen in Auftrag gegeben.

Wie sehr bei den meist noch zweistelligen Fehleraten gängiger Detektoren Vorsicht geboten ist, dass sie gar missbraucht werden können, verdeutlicht folgendes Beispiel: Nach dem Angriff der Hamas auf Israel am 7. Oktober 2023 veröffentlichte die israelische Regierung mehrere Bilder verbrannter Babyleichen, um die Gräueltaten der Terroristen zu belegen. Bei einem der Fotos schlug ein Fake-Detektor fälschlicherweise an. Daraufhin generierten die Widersacher ein neues Bild mit KI, in dem sie die Kinder gegen

KI nutzen die Sicherheitsexperten am Fraunhofer AISEC auch für den Gegenangriff: Sie trainieren und entwickeln Lösungen, die Audio-Deepfakes automatisiert als Fälschungen entlarven sollen.



Nichts ist mehr in Stein gemeißelt: Jahrtausende alten Bildnissen wie dem von Ramses II im ägyptischen Luxor-Tempel, kann man heute mit wenigen Klicks ein neues Gesicht geben – und Prof. Steinebach setzt seine Weltreise fort.

tote Hunde austauschten, und das sie dann als Originalbild deklarierten. Auf diese Weise sollten auch alle anderen Beweisbilder, bei denen kein Detektor anschluss, als Fälschungen und die Israelis als Betrüger diskreditiert werden.

Auch das britische Königshaus musste im Frühjahr die Auswirkungen solcher Falsch-Positiv-Meldungen erfahren. Kaum machte bei einem Familienbild der Royals ein Online-Detektor Unregelmäßigkeiten aus, war der Skandal perfekt. Dass die gesamte Fachwelt nichts Verdächtiges fand und letztlich eine Standardbildbearbeitung, wie sie Hobbyfotografen oft machen, ausschlaggebend war, ging in der sich überschlagenden Berichterstattung fast unter.

Wenn die Detektion von Fälschungen noch derart fehlerbehaftet ist, hilft eine andere Methode, zumindest die Originale zu erkennen: »Die einzige Strategie, mit der man heute relativ sicher sein kann, ist eine Positiv-Signatur: Neuere Digitalkameras versehen ihre Bilder mit einer kryptografischen Signatur, die nur schwer zu fälschen ist. Auch entsprechende Handy-Apps sind verfügbar«, so Steinebach. »Zudem arbeiten große IT-Konzerne an neuen Sicherheitsstrategien, bei denen – ähnlich dem Blockchain-Konzept – zum Beispiel alle Verarbeitungsschritte eines Bildes signiert und gespeichert werden.« Diese Nachricht dürfte auch die britischen Royals freuen.

Audio-Deepfakes: Trau deinen Ohren nicht

Zunehmend beliebter bei Kriminellen werden sogenannte Voice-Cloning-Techniken, das Klonen von Stimmen. Mit dieser Technik beeinflussten Angreifer den Wahlkampf um die slowakischen Parlamentswahlen 2023. Zwei Tage vor der Wahl kursierte in sozialen Netzwerken ein Audioclip, in dem sich angeblich eine bekannte Journalistin und der Vorsitzende der Partei Progressive Slowakei darüber unterhielten, wie man die Wahlen manipulieren könne. Das gefälschte Gespräch hat nie stattgefunden, aber der Clip erreichte Tausende Nutzer. Auch in den USA dürften sich Anfang des Jahres einige Demokraten gewundert haben, als Joe Biden persönlich anrief und sie aufforderte, nicht an den US-Vorwahlen teilzunehmen. Die Stimme des US-Präsidenten war KI-generiert, die Anrufe erfolgten automatisiert.

»Schon aus 20 Sekunden Audiomaterial lassen sich heute typische Stimmmerkmale herausfiltern und damit ganz neue Sätze erzeugen«, beschreibt Sicherheitsexperte Nicolas Müller vom Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC in Garching eine Technik des Maschinellen Lernens, das sogenannte Few-shot learning. Es reicht also ein kurzer Ausschnitt einer öffentlichen Rede, um Gespräche oder Vorträge zu manipulieren. Waren

vor einem Jahr noch viele Programme damit überfordert, mindestens 16 000 Datenpunkte pro Sekunde konsistent zu fälschen, ist das mit KI inzwischen kein Problem mehr. Und funktioniert sogar nahezu in Echtzeit. Dennoch gibt es laut Müller auch hier Anhaltspunkte, wenn man ganz genau hinhört: »Eine KI-generierte Stimme ist teilweise monoton mit unnatürlichen Betonungen, kleinen Verzögerungen und wenigen Emotionen.«

KI nutzen die Sicherheitsexperten am Fraunhofer AISEC auch für den Gegenangriff: Sie trainieren und entwickeln Lösungen, die Audio-Deepfakes automatisiert als Fälschungen entlarven sollen. Dafür generieren sie zunächst künstliche Audio- und Video-Daten und entwickeln anhand derer Algorithmen, die sie an kleinsten, menschlich kaum wahrnehmbaren Unstimmigkeiten erkennen. Auf der Website deepfake-total.com stellen die Fraunhofer AISEC-Forschenden ihre Entwicklungen der Allgemeinheit zur Verfügung. Dort kann man Links oder Dateien hochladen, um zu testen, ob die Inhalte gefälscht sind. Dabei gilt laut Müller: »Aufnahmen von bekannten Generatoren werden von solchen Tools meist besser erkannt als Inhalte aus ganz neuen Quellen.«

Die Professionalisierung von Audiofakes erhöht auch das direkte Betrugsrisiko. Jedem, der einen verdächtigen Anruf von Verwandten oder Bekannten erhält, die ihn um eine schnelle Geldüberweisung oder die Herausgabe vertraulicher Daten bitten, rät Müller, aufzulegen und – wenn möglich auf einem anderen Kanal – zurückzurufen. Er und sein Team forschen zudem an Methoden, die Systeme zur Gesichts- oder Spracherkennung, zum Beispiel Voice-ID-Systeme, robuster und resilienter gegen Manipulationen und Angriffe machen. Neben den Risiken ist dem Forscher aber auch daran gelegen, auf die Chancen von Sprachgeneratoren hinzuweisen. »Sie können beispielsweise Menschen mit Sprachbehinderungen helfen, von Sprachassistenten oder von anderen Menschen besser oder überhaupt verstanden zu werden.« Aktuell forscht zum Beispiel Google an KI, die atypische, schwer verständliche Sprache in eine fließende Sprache übersetzt.

Schnelligkeit vs. Sorgfalt: Das Dilemma der sozialen Medien

Geht es um Fake-Inhalte, lohnt auch ein Blick auf deren Verbreitungswege. Social-Media-Plattformen sind in der Pflicht, verdächtige Inhalte zu kennzeichnen, tun sich aber schwer. Denn der Prozess ist langwierig: Zuerst gilt es zu erkennen, ob ein Inhalt problematisch ist. Das passiert entweder durch interne Recherche-Teams oder man verlässt sich auf Meldungen von Nutzern, was alles andere als zuverlässig und ►

»Schon aus 20 Sekunden Audiomaterial lassen sich heute typische Stimmmerkmale herausfiltern und damit ganz neue Sätze erzeugen.«

Nicolas Müller,
Fraunhofer AISEC



»Die KI hat nicht mehr Durchblick in Urteilsfragen als der Mensch.«

Prof. Martin Steinebach,
Fraunhofer SIT

effektiv funktioniert. Denn nichts ist schwarz oder weiß: »Zu unterscheiden, ob ein Inhalt Entertainment oder echte Nachricht ist, ob es ernst zu nehmen oder überspitzte Satire ist, ist weder für Menschen noch Maschinen einfach«, weiß Martin Steinebach vom Fraunhofer SIT. »Was zudem oft übersehen wird: Viele Desinformationen sind auch keine platten Lügen, sondern Wahrheiten, die mit bösartiger Absicht verbreitet oder aus dem Kontext gerissen werden.« Im zweiten Schritt muss entschieden werden, ob ein Post überhaupt relevant ist, also oft geteilt wird oder destabilisierend wirken soll. Erst dann kann der Inhalt entsprechend markiert, gelöscht oder gesperrt werden. »Doch bis dahin sind Tage vergangen und die Falschmeldung wurde schon längst in aller Welt verbreitet«, sagt der Forensik-Experte. Geschwindigkeit ist also entscheidend. Und genau da liegt das Problem: Denn die nötige Sorgfalt bei der Prüfung darf nicht der Reaktionsschnelligkeit zum Opfer fallen.

Selbst wenn Fake-Inhalte auf den großen Plattformen gelöscht sind, kursieren sie oft noch lange in Messenger-Diensten wie Telegram. Diese Kanäle nehmen die Forschenden am Fraunhofer SIT im Projekt »Dynamo« genauer unter die Lupe. Um die Dynamik von Desinformationskampagnen dort zu verstehen, untersuchen sie, wie sich die Inhalte über Messenger verbreiten, aber auch wie sie mit anderen Kanälen zusammenspielen. Interessant ist für sie, welche Ei-

genschaften dieser Dienste sie anfällig für Desinformationskampagnen machen, ob es Muster in der Verbreitung gibt und welche Gegenstrategien sich daraus ableiten lassen. Ziel ist es, technische Hilfsmittel und Ansätze gegen Fake News zu entwickeln und diese der Öffentlichkeit voraussichtlich im Herbst zur Verfügung zu stellen.

Recherchehilfe für Medien

Auch für Medienschaffende und Faktenchecker wird es immer schwieriger, die Flut an täglichen Informationen zu durchleuchten und Fakes von Fakten zu unterscheiden. Ihnen wollen Steinebachs Kolleginnen und Kollegen im Rahmen ihrer Forschung im Nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE mit einem sogenannten »Check Worthiness Tool« helfen, Texte schneller zu erfassen und zu bewerten. Mithilfe von Natural Language Processing (NLP) trainierten sie eine KI darauf, relevante und überprüfungswürdige Passagen in Nachrichten automatisiert zu erkennen und zu markieren. Dadurch sollen Redakteurinnen und Redakteure auf einen Blick sehen, an welchen Stellen sie genauer recherchieren müssen.

In einem zweiten Schritt soll das Tool künftig auch im Web mehrere glaubwürdige Quellen zur Stützung oder Entkräftung der markierten Aussagen finden.

Tipps gegen Desinformation

- 1. Unterscheiden:** Konsumiere ich gerade Unterhaltung wie Satire oder belegbare Nachrichten?
- 2. Hinterfragen:** Ist die Information plausibel und ihre Quelle nachprüfbar?
- 3. Gegen das eigene Gehirn arbeiten:** Das menschliche Gehirn konzentriert sich meist auf Gesichter, die Fehler bei Deepfakes passieren aber im Hintergrund: in Mustern, Schriftzügen oder bei Gliedmaßen.
- 4. Überprüfen:** Im Zweifelsfall Suchmaschinen und inverse Bildersuchen nutzen, um zu prüfen, ob Bilder oder Informationen bereits in einem anderen Kontext erschienen sind.



Dazu muss es Ähnlichkeiten zum Ausgangstext automatisch erkennen. Das ist alles andere als trivial: Die Algorithmen müssen zunächst verstehen, welche Texte sich überhaupt auf den gleichen Inhalt beziehen, und dann automatisch prüfen, ob sie die ursprüngliche Aussage bestätigen oder widerlegen. Dazu müssen sie auch Synonyme oder alternative Formulierungen zuverlässig erkennen. Ein Problem: Oft fehlen öffentliche Datensätze, um die KI darauf zu trainieren. Deshalb ist der Aufwand für die Entwicklerinnen und Entwickler, passende Daten zu finden, noch erheblich.

KI-Tools kein Ersatz für selbstständiges Denken

Egal ob in Bild, Ton oder Text, technische Erkennungsmethoden können letztlich nur Anhaltspunkte geben, genauer hinzuschauen. Entscheiden, was plausibel, was wahr oder falsch ist, muss am Ende immer noch jede und jeder selbst. »Wir sehen mit etwas Sorge, wie weit in Politik und Gesellschaft mitunter der Glaube verbreitet ist, allein mit Technologie ließe sich Desinformationskampagnen entgegenwirken oder die KI könnte für uns entscheiden, was wahr oder unwahr ist«, warnt Steinebach. »Damit macht man es sich zu leicht. Denn die KI hat nicht mehr Durchblick in Urteilsfragen als der Mensch.«

In Situationen, die schon die meisten Menschen nur schwer fundiert beurteilen können, wird also auch ein KI-Tool keine einfache Antwort geben. Leider zielen Desinformationskampagnen genau auf solche Themen ab: Am aktivsten waren die Manipulatoren während der Corona-Pandemie, im Ukrainekrieg oder im aktuellen Nahost-Konflikt. »Die gefährlichsten Fakes sind immer die, in denen auch ein Fünkchen Wahrheit steckt. Doch genau die sind am schwersten zu erkennen – von Mensch und KI«, ist Steinebach überzeugt. Einen Tipp hat er dennoch vor allem für Personen des öffentlichen Lebens und Politiker, die häufig Opfer solcher Kampagnen werden. Er empfiehlt den Aufbau von Infrastrukturen für Recherchen: »Das könnten zum Beispiel Datenbanken oder Bereiche auf einer Website sein, wo sämtliches offizielles Bild- und Videomaterial abliegt. Mit diesem könnten Forensiker dann etwaige Fälschungen abgleichen und sie so leichter entlarven.«

Ist auch der Wunsch nach einfachen Antworten in Zeiten komplexer Informationslagen und Unsicherheiten verständlich: KI wird uns selbstständiges Denken und eigene Entscheidungen nicht abnehmen! Vielmehr gilt es, den schwierigen Spagat zu schaffen zwischen dem Schutz vor Desinformation und dem Schutz der Meinungsfreiheit. Und das kann nur durch einen breiten gesellschaftlichen Diskurs, eine ausgeprägte Medienkompetenz und eine wachsame, kritische Öffentlichkeit gelingen. ■

Hier geht's zum Podcast »Deepfakes« (verfügbar ab dem 16. Juli).



Als Christusstatue über Lissabon predigt Steinebach Aufklärung statt Technik-Glaube: KI wird nicht für uns entscheiden, was wahr oder unwahr ist.



Foto: Daria Kulkova/istockphoto bearbeitet mit seaart.ai

Interview

Mit Sorge sieht Bundesinnenministerin Nancy Faeser auf Cyberattacken: »Die Täter werden immer professioneller!«

»Wir nehmen die Lage ernst!«

Deutschland ist Ziel russischer Versuche, Unsicherheit zu verbreiten. Das bestätigt die Bundesinnenministerin.

Aktuell baut ihr Ministerium eine Einheit auf, um Desinformation früher zu erkennen. Nancy Faeser: »Wir werden uns keinesfalls einschüchtern lassen!«

Interview: Josef Oskar Seitz

_____ **Frau Faeser, Deutschland steht in einem Wahljahr. Sind wir auf Cyberattacken hinreichend vorbereitet?**

Cyberattacken lassen sich zwar nie ganz verhindern, aber unsere Behörden sind vorbereitet und tun alles, um unsere Wahlen vor Cyberangriffen zu schützen. Die Bundeswahlleiterin und alle anderen Wahlorgane auf Landes- und Kreisebene treffen Maßnahmen, um sichere Wahlen zu gewährleisten. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik unterstützt sie dabei, berät und informiert. Der beste Schutz sind aber immer noch unsere Stimmzettel aus Papier.

_____ **Bei der Vorstellung des Bundeslageberichts Cybercrime haben Sie darauf hingewiesen, dass seit dem Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine eine Zunahme politisch motivierter Hacker-Aktivitäten registriert wird. Das ist die Quantität. Was spricht für eine neue Qualität?**

Nehmen Sie etwa sogenannte DDoS-Angriffe. Damit sollen Internetdienste durch enorm viele Aufrufe gezielt überfordert werden. Diese Angriffe nehmen an Intensität zu und können in immer kürzerer Zeit kritisch werden. Täter werden dabei immer professioneller. Auch hier sehen unsere Sicherheitsbehörden eine Verschärfung seit Beginn des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine. Pro-russische sogenannte Hacktivistengruppen greifen zum Beispiel ganz gezielt Internetdienste von Behörden an. Der Schaden ist da zwar meistens nicht besonders groß. Aber wir gehen davon aus, dass eine klare Strategie dahintersteckt: die Gesellschaft zu verunsichern und das Vertrauen in demokratische Institutionen und in die Fähigkeiten des Staates, die Bevölkerung zu schützen, zu beschädigen.

_____ **Putins Hacker haben schon im Jahr 2015 den Bundestag angegriffen. Was haben die Sicherheitsbehörden in diesen fast zehn Jahren getan, um den Schutz zu verbessern?**

Wichtig ist vor allem, dass wir die Sicherheitsbehörden gestärkt haben – sowohl personell als auch was ihre Kompetenzen angeht. Wir sind heute zum Beispiel deutlich weiter in der Erkennung und Analyse von Cyberangriffen. Entscheidend ist auch, dass sich unsere Behörden noch enger austauschen, auch international. Und wir sensibilisieren die Öffentlichkeit und potenziell Betroffene noch intensiver als früher – das machen vor allem das Bundesamt für Verfassungsschutz und unsere Cybersicherheitsbehörde BSI. Das reicht aber noch nicht. Ich setze mich dafür ein, dass wir weitere wichtige Schritte gehen: Das BSI muss leichter und schneller handeln können. Und zwar nicht nur, wenn Behörden angegriffen werden, sondern auch, wenn etwa mittelständische Unternehmen oder Universitäten betroffen sind. Bisher ist

»Wir wollen den KI-Einsatz und den KI-Standort Deutschland fördern!«

Nancy Faeser

das viel zu kompliziert. Dafür wollen wir die Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern weiter verbessern und das BSI vergleichbar mit dem Bundeskriminalamt zu einer Zentralstelle ausbauen.

_____ **Bundeskanzler Olaf Scholz versichert immer wieder neu, dass Deutschland nicht Kriegspartei werden dürfe. Ist Deutschland aber aus russischer Sicht nicht längst ein Kriegsziel geworden?**

Als Bundesinnenministerin beobachte ich ebenso wie der Bundeskanzler mit Sorge, welche Auswirkungen die russische Aggression gegen die Ukraine auch auf die Sicherheitslage in unserem Land hat. Hier spielt der Cyberraum natürlich eine bedeutende Rolle. Ja, Deutschland ist Ziel von russischen Versuchen, Einfluss zu nehmen und Unsicherheit zu verbreiten. Entscheidend ist doch: Wir nehmen die Lage ernst und wappnen uns gegen diese Bedrohungen. Und ich sage es auch hier noch mal ganz deutlich: Wir werden uns vom russischen Regime keinesfalls einschüchtern lassen. Wir werden weiterhin alles tun, um unsere Demokratie zu schützen – und wir werden auch weiter massiv die Ukraine unterstützen.

_____ **Deutschland hat über Stahlhelme gestritten, über Panzer und Raketen. Aber müssen wir uns auch an ein neues Bild von Krieg gewöhnen?**

Was Krieg bedeutet, sehen wir an den furchtbaren russischen Angriffen auf die ukrainische Zivilbevölkerung. Daher sollten wir vorsichtig sein mit solchen Begriffen. Klar ist aber: Wir müssen uns mit veränderten Realitäten auseinandersetzen. Dazu gehört zum Beispiel, dass wir neben der militärischen auch die zivile Verteidigung stärken müssen, zum Beispiel durch ein starkes Technisches Hilfswerk, das in Krisen- und Katastrophenfällen hilft. Und natürlich müssen wir gut gegen hybride Bedrohungen wie Cyberattacken, Desinformation und Spionage gewappnet sein. In diesen Bereichen haben wir unsere Sicherheitsbehörden massiv verstärkt. ▶



Im Kampf gegen rechts

2009 wirbt SPD-Innenpolitikerin Nancy Faeser im Hessischen Landtag für ein Verbot der NPD. Sie scheidet. Der Mord an Regierungspräsident Walter Lübcke 2019 wird für sie zu einem »tiefen Einschnitt«.



Glückwunsch vom Kleinen

2019 wird Nancy Faeser auf dem Landesparteitag in Hessen mit 88 Prozent der Stimmen zur SPD-Vorsitzenden gewählt. Auch Sohn Tim, damals 4, gratuliert. Faeser, die am 13. Juli den 54. Geburtstag feiert, ist in einem sozialdemokratischen Haus aufgewachsen. Ihr Vater war 13 Jahre lang Bürgermeister in Schwabach am Taunus.



Die zweite Liebe mit »P«

Politik ist die eine Leidenschaft von Nancy Faeser. Pferde sind die andere. Mit acht Jahren hat sie mit dem Reiten begonnen. »Ich war das klassische Pferdemädchen«, erinnert sie sich. Da nutzt sie auch die Begegnung mit Polizeipferden für schnelle Streicheleinheiten.

Außenministerin Annalena Baerbock hat zusammen mit ihren Kollegen aus Frankreich und Polen den gemeinsamen Kampf gegen russische Desinformation und Cyberattacken beschworen. Wo sehen Sie Fortschritte?

In den letzten Jahren haben wir in der EU große und ganz konkrete Fortschritte im Kampf gegen Desinformation und andere Arten der illegitimen Einflussnahme von außen gemacht. Wir arbeiten immer enger zusammen und helfen uns gegenseitig – zum Beispiel durch Toolboxes oder Expertenteams. Das ist richtig und wichtig. Wir sensibilisieren die Öffentlichkeit heute viel stärker für hybride Bedrohungen. Wir kommunizieren noch offener und transparenter zur Bedrohungslage und zu den Schutzmaßnahmen. Auf Bundesebene bauen wir momentan eine Einheit in meinem Ministerium auf, die Desinformation noch früher erkennen soll. Wir müssen die Lügen entlarven, bevor sie als große Wellen das Netz fluten.

Brauchen wir auch eine »Zeitenwende« für die innere Sicherheit unserer Demokratie und Wirtschaft?

Die erleben wir längst. Äußere und innere Sicherheit gehören untrennbar zusammen.

Kann der Rückzug ins Nationale eine Lösung sein?

Nein. Dafür sind die Herausforderungen zu groß. Und ich warne vor denen, die behaupten, dass sich dadurch irgendwelche Probleme in der inneren Sicherheit lösen lassen.

Sie wollen einen Rechtsrahmen für den Einsatz von KI schaffen. Was soll er beinhalten? Und inwieweit unterscheidet er sich vom Artificial Intelligence Act der EU?

Wir haben einen umfassenden Rechtsrahmen für den Einsatz von KI. Auf europäischer Ebene ist nun der AI Act verabschiedet worden. Darüber hinaus gibt es die Datenschutzgesetze und andere Regelungen. Wir haben hier also keinen rechtsfreien Raum. Uns geht es darum, die Chancen von KI zu nutzen – und zugleich Risiken zu minimieren, etwa durch Deepfakes, die demokratische Debatten manipulieren können. Fest steht: Wir wollen den KI-Einsatz und den KI-Standort in Deutschland fördern.

Mit KI erstellte Fake News werden vor allem in sozialen Netzwerken verbreitet. Wie könnten die Betreiber dieser Angebote dagegen vorgehen?

Mit dem Digital Services Act haben wir in der EU einen wichtigen Schritt nach vorn gemacht. Der Verbreitung von strafbaren Hasspostings und von Desinformation wirken wir damit entgegen. Eine besondere Verantwortung kommt den Betreibern von sehr großen Plattformen zu – und das ist richtig. Sie müssen jetzt liefern. Zum Beispiel durch aktive Maßnahmen, um gefälschte Konten zu identifizieren und zu schließen und um automatisierte Systeme zu bekämpfen, die solche Inhalte gezielt verstärken. Wichtig ist auch, dass Plattformbetreiber dafür sorgen, dass KI-generierte Inhalte gekennzeichnet werden.

Presseberichten zufolge ist den Mitarbeitern Ihres Ministeriums die Verwendung von KI-Programmen untersagt. Warum gilt dieses Verbot – und sendet es nicht ein falsches Signal?

KI hat auch für die Verwaltung großes Potenzial. Daran besteht kein Zweifel. Ein generelles Verbot gibt es deshalb nicht. Aber natürlich haben wir gerade im Sicherheitsbereich besondere Anforderungen an Geheimschutz und Datenschutz. Mir geht es um einen verantwortungsvollen Einsatz von KI. Nehmen Sie etwa Dienste, bei denen Daten unkontrolliert und intransparent irgendwohin verschwinden. Die nutzen wir natürlich nicht.

Wo sehen Sie in Ihrem Zuständigkeitsbereich Möglichkeiten für den Einsatz von KI?

Also zunächst einmal nutzen unsere Behörden »klassische« KI-Anwendungen schon seit mehreren Jahren: in der Bürger-Kommunikation mit unseren Bundesbots oder zur Unterstützung bei der Datenanalyse. Gefühlt kommen aber auch fast täglich neue Möglichkeiten dazu. Wir bauen im BMI momentan das Beratungszentrum für Künstliche Intelligenz auf. Damit schaffen wir eine zentrale Anlauf- und Koordinierungsstelle für KI-Vorhaben in der Bundesverwaltung. Wir fördern gemeinsame Entwicklungen, zum Beispiel durch den »Marktplatz der KI-Möglichkeiten«, den wir gerade einrichten. Was verstärkt auch auf die öffentliche Verwaltung zukommt, ist der Einsatz von Sprachmodellen, beispielsweise zur Textanalyse und Textbearbeitung. Bei alledem werden wir größtmögliche Transparenz zeigen. Ich finde es wichtig, dass Bürgerinnen und Bürger wissen, wo KI eingesetzt wird, und dass sie der Verwaltung auch in dieser Hinsicht vertrauen können.

»Durch die Forschung haben wir heute einsatzbereite quantensichere Verschlüsselungsmechanismen. Die Herausforderung ist nun, diese in die Anwendung zu bekommen.«

Nancy Faeser



Wie kann Forschung beitragen, Sicherheit zu schaffen?

Wir haben jetzt viel über KI gesprochen. Gerade in diesem Bereich leistet Forschung einen sehr wichtigen Beitrag, um die Sicherheit von KI-Anwendungen zu erhöhen, aber auch, um KI-Anwendungen zur Erhöhung der Cybersicherheit zu entwickeln. Ich möchte gerne noch ein anderes Beispiel aufgreifen: Wir stehen bei den Grundbausteinen der Cybersicherheit, den Verfahren zur Verschlüsselung und zur Authentisierung, gerade vor einem großen Umbruch. Quantencomputer drohen diese in nicht allzu ferner Zukunft knacken zu können. Daher müssen wir jetzt schnell beginnen, neue, gegen diese Angriffe resistente Verfahren in den Einsatz zu bringen. Mit der Entwicklung solcher quantensicherer Verfahren hat die Forschung schon vor Jahrzehnten begonnen, als Quantencomputer nur ein theoretisches Konzept waren. Dank dieser Resultate haben wir heute einsatzbereite quantensichere Verschlüsselungs- und Authentisierungsmechanismen. Die Herausforderung ist nun, diese in die Anwendung zu bekommen.

Als Bundesinnenministerin sind -ismen Ihr Kerngeschäft: Rechts- und Linksextremismus, Antisemitismus, Islamismus, Rassismus, Sexismus – wo sehen Sie die größte Gefahr?

Die größte extremistische Gefahr für unsere Demokratie geht vom Rechtsextremismus aus. Zugleich sind wir äußerst wachsam gegenüber der Bedrohung durch islamistischen Terror, gegenüber Linksextremismus und gegenüber den hybriden

äußeren Bedrohungen, über die wir schon sprachen. Wir müssen in alle Richtungen wachsam sein. Seit dem furchtbaren Terrorangriff der Hamas auf Israel am 7. Oktober 2023 sehen wir einen dramatischen Anstieg antisemitischer Straftaten. Es gibt immer häufiger Gewalt gegen politisch Engagierte aller Parteien. Erst jüngst hat der furchtbare Messerangriff in Mannheim durch einen mutmaßlichen Islamisten, bei dem ein junger Polizist getötet wurde, unser ganzes Land erschüttert. Unsere Sicherheitsbehörden treten allen diesen Bedrohungen entgegen.

Mit Ihnen verbinden sich zwei Premieren: Sie sind die erste SPD-Bundesinnenministerin seit Otto Schily, Sie sind die erste Frau als Bundesinnenministerin. Sehen Sie andere Schwerpunkte für Ihre Arbeit?

Jeder hat seine Art, ein solches Amt auszuführen. Und jede Zeit hat ihre Herausforderungen. Für mich ist Sicherheit auch eine Frage der sozialen Gerechtigkeit. Unser Rechtsstaat muss alle Menschen schützen, unabhängig davon, wo ihre Familien einmal herkamen, wie viel Geld sie haben, woran sie glauben und wen sie lieben. Ich versuche in meinem Amt auch die Perspektive derjenigen zu sehen, die von Extremismus oder Kriminalität bedroht sind. Da hat mich der enge Kontakt zu Familien der Opfer der entsetzlichen rassistischen Morde in Hanau sehr geprägt, ebenso wie meine Arbeit zur Aufarbeitung des Terrors des »NSU«. Das sind Erfahrungen, die sich mir so tief eingepägt haben, dass sie sich auch auf mein heutiges Handeln auswirken. ■



Die erste Frau im Amt

Am 7. Dezember 2021 legt Nancy Faeser vor Bundestagspräsidentin Bärbel Bas den Eid als Innenministerin ab. Sie ist die erste Frau in diesem Amt – und die erste SPD-Innenministerin seit Otto Schily.



Der Mann an ihrer Seite

Die Bundesinnenministerin mit Ehemann Eyke Grüning, SPD-Kommunalpolitiker und Rechtsanwalt. Auch Faeser hat Jura studiert, ein Schwerpunkt ihrer Anwaltstätigkeit bei einer Großkanzlei war Immobilienrecht.



Politik auch beim Fußball

Auf dem Rasen hat die FIFA die Kapitänbinde verboten, da trägt die Bundesinnenministerin sie beim Auftaktspiel zur Fußball-WM in Qatar eben auf der Tribüne. Das Spiel gegen Japan geht verloren, Faeser und DFB-Präsident Neuendorf haben trotzdem Spaß.

Seltene Krankheiten schneller erkennen

Rund vier Millionen Deutsche leiden an »Seltene Erkrankungen«. Häufig dauert es lange, bis die Ursache für ihre Beschwerden gefunden wird. Wie Künstliche Intelligenz helfen kann, ihren Leidensweg abzukürzen.

Von Dr. Sonja Endres



Mit der sogenannten »Orphan-Drug-Verordnung« fördert die EU seit dem Jahr 2000 die Entwicklung von Medikamenten gegen »Seltene Erkrankungen«.

Der Patient klagt über Müdigkeit, Appetitlosigkeit, Bauchschmerzen. Könnte ein Magen-Darm-Infekt sein oder eine Gastritis – vielleicht aber auch Morbus Wilson. Die genetisch bedingte, lebensbedrohliche Stoffwechselstörung gehört zu den rund 6000 sogenannten »Seltenen Erkrankungen«, die bisher weltweit gelistet sind. Sie alle haben gemein, dass ihre Symptomatik meistens unspezifisch ist. Sechs Jahre vergehen daher durchschnittlich, bis die richtige Diagnose gestellt wird – zu lange, finden Dr. Andreas Jedlitschka und Patricia Kelbert vom Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE. In Kooperation mit den Unikliniken Frankfurt am Main und Dresden arbeiten sie an dem KI-basierten Portal SATURN, das Ärztinnen und Ärzte zukünftig bei der Diagnosestellung unterstützen soll.

In der EU gilt eine Erkrankung als »selten«, wenn sie nicht mehr als einen von 2000 Menschen betrifft, entsprechend dünn ist die Datenlage. Jedlitschka: »Wir kombinieren daher unterschiedliche KI-Verfahren, um zum besten Ergebnis, also zur wahrscheinlichsten Diagnose, zu kommen.« Das sogenannte »fallbasierte Schließen« vergleicht den aktuellen Fall mit den klinischen Daten anderer und zieht aufgrund von Ähnlichkeiten Rückschlüsse. Der »regelbasierte Ansatz« extrahiert aus medizinischen Leitlinien und Interviews mit Expertinnen und Experten Grundsätze, die zur Diagnosefindung genutzt werden. Mithilfe verschiedener Verfahren des maschinellen Lernens will das Forschungsteam schließlich in klinischen Falldaten charakteristische Krankheitsmerkmale und -muster identifizieren.

Tools zur Diagnose von Seltenen Erkrankungen gibt es bereits auf dem Markt. Häufig liegen sie jedoch daneben, weil sie sich in der Regel nur auf wenige Daten und ein einziges KI-Verfahren stützen. »Wie gesichert die Diagnose ist oder wie sie zustande kommt, ist selten transparent«, kritisiert Jedlitschka, der am Fraunhofer IESE den Bereich Data Science leitet. So schürten sie unnötig Ängste bei Patien-

tinnen und Patienten. Viele wüssten nicht, dass es sich lediglich um Wahrscheinlichkeitswerte handele. »Die können manchmal bei nur 30 Prozent oder darunter liegen«, warnt Jedlitschka. Die KI sei oft ausschließlich mit Daten zu Seltenen Erkrankungen trainiert, daher liefere sie im Ergebnis immer eine entsprechende Diagnose – auch wenn die Patientin zu 95 Prozent an einem grippalen Infekt leide. Den meisten Userinnen und Usern von Diagnose-Apps sei das nicht bewusst. SATURN soll deshalb ausschließlich Ärztinnen und Ärzten zur Abklärung eines Verdachtsfalls

In der EU gilt eine
Erkrankung als
»selten«, wenn sie
nicht mehr
als einen von
2000
Menschen betrifft.

zur Verfügung gestellt werden, die die Ergebnisse richtig einordnen könnten. Zudem ist eine Anbindung an den »SE-Atlas« geplant – eine Online-Informationenplattform der Universität Frankfurt, in dem medizinische Zentren für Seltene Erkrankungen, Spezialistinnen und Spezialisten sowie zahlreiche Tipps zu finden sind.

Eine erste Testversion von SATURN existiert bereits. Sie basiert auf Patientendaten von rund 20 Krankheitsbildern, die die Kooperationspartner in strukturierter und anonymisierter Form zur Verfügung stellen, sowie auf medizinischer Fachliteratur. »Zurzeit interviewen wir Fachärztinnen und Fachärzte, um ihr Spezial- und Erfahrungswissen ebenfalls in unsere KI-Modelle zu integrieren«, erklärt Bioinformatikerin Kelbert. Ziel sei es, dem Hausarzt, der für die meisten Betroffenen die erste Anlaufstelle ist, eine konkrete Hilfestellung an die Hand zu geben: Welche

Fragen sollte er stellen, um eine Verdachtsdiagnose zu erhärten oder auszuschließen? Worauf sollte er besonders achten? Kelbert ist überzeugt: »Wenn wir vorher besser filtern, können wir auch die Fachpraxen deutlich entlasten, an die Patientinnen und Patienten zur weiteren Abklärung meistens überwiesen werden.«

Um die Entscheidung der KI möglichst transparent und nachvollziehbar zu machen, wird im Portal angezeigt, zu wie viel Prozent die Diagnose gesichert ist und auf welchen Daten und Quellen das Urteil beruht. Kelbert: »Das System meldet also beispielsweise, die Angaben passen zu 80 Prozent zu Morbus Wilson. Die Symptome sind größtenteils in der Behandlungsleitlinie aufgelistet, wir haben einige vergleichbare Fälle und auch die Experten-Interviews untermauern den Verdacht. Aber es fehlen noch die Symptome X und Y.«

Um die KI-Modelle weiter verbessern zu können, sind mehr Trainingsdaten notwendig. Gerade im Bereich der Seltenen Erkrankungen, wo insgesamt nur wenige Daten vorliegen, wäre es wichtig, diese weltweit zu sammeln und auszuwerten, um die Versorgungsqualität zu erhöhen. Einen ersten Schritt in diese Richtung hat die Europäische Kommission vor fünf Jahren bereits getan. Die »European Platform on Rare Disease Registration« soll den Austausch von Daten zu Diagnose, Behandlungsverläufen und Versorgung von Patientinnen und Patienten mit Seltenen Erkrankungen ermöglichen, die bisher in Hunderten Registern verteilt sind – allerdings unter Wahrung der strengen EU-Datenschutz-Regeln. »Leider ist es für Forschungsprojekte sehr kompliziert, an diese Daten heranzukommen«, bedauert Kelbert. Die Betroffenen-Gruppen, mit denen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Austausch sind, würden ihre Daten gerne zur Verfügung stellen, um so anderen ihre lange Leidensgeschichte zu ersparen. Jedlitschka: »Ich hoffe, dass wir in Deutschland einen Weg finden, medizinische Forschung mit Gesundheitsdaten zu vereinfachen.« Er ist überzeugt: »Das Potenzial ist riesig.« ■



Autos (fast) ohne Neumaterial

Die Zukunft bleibt elektrisch: Ohne Kaufprämien für Elektroautos ist die Verkehrswende zwar ins Stocken geraten. Doch verhilft die Forschung der E-Mobilität zu neuem Schwung.

Von Manuel Montefalcone

Fast ohne neue Rohstoffe sollen künftig Autos gebaut werden. Das entspricht einer Materialeinsparung von mehr als 1,5 Tonnen pro Fahrzeug. An diesem kreislauffähigen elektrischen Fahrzeug arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU im EU-Projekt ZEvRA. Gemäß EU-Vorgaben sollen Neuwagen bis 2035 fast vollständig aus Teilen hergestellt werden, die recycelt, überarbeitet, umfunktioniert, repariert oder wiederverwendet wurden. Das Projekt-Konsortium aus 28 europäischen Partnern, darunter

fünf Automobilhersteller, entwickelt unter der Federführung des Fraunhofer IWU Ansätze für eine ressourcenschonende Automobil-Produktion. Das Modell besteht aus den wichtigsten Materialklassen, die mehr als 84 Prozent im Materialmix eines typischen Elektrofahrzeugs abdecken. Anschließend realisieren die Beteiligten ein Demonstrationsfahrzeug, das die physischen und virtuellen Ergebnisse integriert. Dank ZEvRA sollen Entwicklungen in Industrie und Forschung angestoßen werden, die den CO₂-Fußabdruck pro Fahrzeug künftig um mindestens 25 Prozent reduzieren.

Die Zukunft bleibt elektrisch, sind sich die Forschenden der Fraunhofer-Allianz Verkehr sicher: »Wir haben gar keine andere Chance als die E-Mobilität, wenn wir die deutschen Klimaziele einhalten wollen«, sagt Ingenieur Felix Horch, Mitglied der Fraunhofer-Allianz Verkehr und Abteilungsleiter Nachhaltige Energiesysteme am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM. Bis 2030 sollen die Treibhausgase um mindestens 65 Prozent gesenkt werden; bis 2040 um mindestens 88 Prozent, bis 2045 soll Deutschland völlig treibhausneutral sein. So steht es im



Auf die inneren Werte kommt es an: E-Autos sollen durch ressourcenschonende Produktion noch nachhaltiger werden.

Fraunhofer-Allianz Verkehr



Mehr Informationen zur
automobilen Zukunft unter:
www.verkehr.fraunhofer.de



Klimaschutzgesetz, das der Bundesrat im Mai abschließend gebilligt hat. Horch: »Es wäre mit dem heutigen Wissensstand unsinnig, unbedingt den Verbrennungsprozess als Antriebsoption weiter nutzen zu wollen. Der Elektromotor ist wesentlich effizienter und dabei klimaneutral.« Und Prof. Thilo Bein, Allianz-Verkehr-Mitglied und Leiter Wissenschaftsmanagement am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, prophezeit: »Pkw werden in Zukunft sicher batterieelektrisch unterwegs sein. Bei kleineren, mittleren und großen Nutzfahrzeugen werden wir aber eine Diversifizierung der Antriebsstränge sehen. Hier könnten auch Wasserstoff, E-Fuels und Brennstoffzellen zum Einsatz kommen, zumindest auf Langstrecken.«

Aufholbedarf bleibt bei der Ladeinfrastruktur. Im November 2023 gab es laut Bundesnetzagentur 120 500 Ladepunkte für E-Autos in Deutschland. Zwar wächst die Zahl. Doch beim Nachbarn Niederlan-

de sprießen Ladepunkte wie Tulpen aus dem Boden: 144 450 Ladestationen ergeben 111,8 Ladepunkte pro 100 Straßenkilometer – und damit mehr als doppelt so viele im Vergleich. In puncto Ladeinfrastruktur, aber auch in puncto Produktion von E-Autos gilt es mitzuhalten. Horch: »Es zählt die Konkurrenzfähigkeit von technologischen Lösungen – nur wer diese im globalen Wettbewerb wirtschaftlich effizient herstellen kann, wird damit Erfolg haben.«

Daran arbeiten seit drei Jahren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Fraunhofer-Forschungsfertigung Batteriezelle FFB in Münster auf rund 6800 Quadratmetern Forschungsfläche. Die Einrichtung zielt darauf ab, die Produktionsprozesse von Batteriezellen »Made in Germany« voranzutreiben. In der geschützten Umgebung der »FFB PreFab« haben Partner aus unterschiedlichsten Branchen die Möglichkeit, mithilfe der Fraunhofer-Forschenden ihre Entwicklungs- und Kommerzialisierungsprozesse für bestehende

und zukünftige Zellformate schneller zu durchlaufen. »Wir können mit unserer Arbeit dazu beitragen, dass die Herstellungskosten von Batteriezellen gesenkt werden,« erläutert Dr. Thomas Paulsen, Abteilungsleiter Strategische Geschäftsentwicklung an der Fraunhofer FFB. »Die Zelle ist eines der wichtigsten Teile eines Batteriepacks. Wenn wir beispielsweise den Ausschuss, der bei dem Anlauf einer Produktionsanlage entsteht, reduzieren können, sinken auch die Kosten«, konkretisiert er. »Wir tragen mit unserer Arbeit also dazu bei, Batterien für E-Autos günstiger zu machen und technologische Souveränität in Europa zu erlangen, denn bisher stammen rund 80 Prozent der Batteriezellen in europäischen Autos aus Asien.« Bald sollen zusätzliche Produktions- und Forschungsflächen von 20 000 Quadratmetern entstehen, um eine industriennahe Produktionsforschung im Gigawatt-Bereich zu ermöglichen – und der elektrifizierten Zukunft des Autos einen wichtigen Schritt näher zu kommen. ■

Auftanken während der Pause

Elektro-Lkw im Fernverkehr? Forschung und Unternehmen entwickeln die nötige Schnelllade-Infrastruktur.

Von Dr. Janine van Ackeren

Der Lkw-Verkehr auf deutschen Straßen wird bis zum Jahr 2051 um mehr als 50 Prozent zunehmen, prognostiziert das Bundesverkehrsministerium.

E-Fahrräder und E-Autos: klar, das funktioniert im Alltag. Doch E-Lkw im Langstreckenbereich? Lastzüge, die schwere Güter vom Hafen in den Niederlanden quer durch Deutschland nach Ost- oder Südosteuropa transportieren? »Es ist technisch vollkommen unproblematisch, einen E-Lkw mit 1000 Kilometern Reichweite zu bauen – sowohl die Batterien als auch die Ladeleistungen haben sich stark verbessert«, versichert Dr. Patrick Plötz, Geschäftsfeldleiter Energiewirtschaft am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. »Doch eine solche große Reichweite ist meist gar nicht nötig – sie würde nur die Kosten unnötig in die Höhe treiben.«

Schnelllade-Infrastruktur für EU-Mitgliedstaaten

In den meisten Lkw, die quer durch Europa donnern, sitzt nur ein Fahrer – der gesetzlich nach 4,5 Stunden eine Pause von mindestens 45 Minuten einlegen muss. Zeit, in der sich nicht nur die Akkus des Fahrers wieder aufladen sollen, sondern künftig auch die Batterien des Trucks. »Eine reale Reichweite von 500 Kilometern wäre daher vollkommen ausreichend. Woran es hapert, ist die entsprechende Schnelllade-Infrastruktur«, erläutert Plötz. »Wir stehen im Lkw-Fernverkehr noch ganz am Anfang«, gibt Plötz zu. Dynamik schafft jedoch die EU: Um die Treibhausgasemissionen im Verkehr und speziell von schweren Lkw zu senken, müssen alle EU-Mitgliedstaaten in den nächsten Jahren verpflichtend eine Infrastruktur für alternative Kraftstoffe aufbauen. Dazu zählt insbesondere auch der Aufbau öffentlicher Schnellladeinfrastruktur für Lastwagen entlang von Autobahnen. Auch die Mindestanforderungen zurrte die EU-Verordnung fest: Bis 2030 sollen europaweit entlang der knapp 110 000 Kilometer der transeuropäischen Verkehrsnetze etwa 2800 Ladestandorte errichtet werden – mit insgesamt mindestens 7,5 Gigawatt Ladeleistung.

Die Herausforderungen dabei untersuchen Forschende im Projekt »HoLa – Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr«. Beteiligt sind die vier Lkw-Produzenten Daimler, Volvo, MAN und Scania, Herstel-

ler von Ladesäulen und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Die Gesamtprojektleitung für das Projekt, das 2021 startete und noch bis Ende September 2025 läuft, liegt beim Fraunhofer ISI. Das Projekt wird mit insgesamt 12 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert – dient es doch der Erprobung dieses neuen Systems. Gesamtprojektleiter Plötz formuliert es so: »Wir wollen E-Lkw frühzeitig in die Logistikprozesse integrieren, das neue Schnellladen testen und Erfahrungen im Realbetrieb sammeln – und natürlich mit unseren Daten die Basis schaffen für einen flächendeckenden Ausbau dieser Technologie.«

»Bis zum Jahr 2030 brauchen wir mindestens 1000 Megawatt-Ladepunkte an 142 Standorten in Deutschland, wenn die Fahrer auch zur Hauptverkehrszeit nicht länger als fünf Minuten auf eine freie Ladesäule warten sollen.«

Dr. Patrick Plötz, Fraunhofer ISI

Test-Ladestationen entlang der A2

Zunächst einmal gilt es zu zeigen, dass der Ansatz des Megawatt-Ladens funktioniert. Ort dieser Machbarkeitsdemonstration ist die A2 zwischen Berlin und dem Ruhrgebiet: An fünf Standorten baut das Projektteam Ladestationen auf – zunächst mit je zwei Ladesäulen des existierenden Standards Combined Charging System (CCS), sprich etwa 400 Kilowatt. Parallel entwickeln die Projektpartner das Megawatt Charging System, kurz MCS, mit dem vier der fünf Ladestationen ausgerüstet werden

sollen: als erste Lkw-Megawatt-Ladesäulen im öffentlichen Raum in Deutschland. Langfristig sollen normale und Schnellladesäulen nebeneinander betrieben werden – schließlich sind die derzeitigen E-Lkw noch nicht schnellladetauglich. Für den Praxistest stellen die Produzenten den beteiligten Logistikunternehmen jeweils mindestens zwei CCS-Fahrzeuge sowie je ein Megawatt-ladefähiges Fahrzeug als Prototypen zur Verfügung.

Wie viel Megawatt-Laden braucht das Land?

Der Schwerpunkt der Fraunhofer-Institute liegt auf der Umfeldforschung: Wann werden wie viele von diesen Ladesäulen gebraucht? Wie könnte ein Ladenetzwerk aussehen – für Deutschland, aber auch für Europa? »Über verschiedene Berechnungen und Simulationen wollen wir zu einer Blaupause für den flächendeckenden Ausbau öffentlicher Lkw-Ladeinfrastruktur beitragen«, sagt Plötz. Während die Forschenden des Fraunhofer IAO einen einzigen Rasthof sehr genau unter die Lupe nahmen, zogen die Forschenden des Fraunhofer ISI den Zoom weiter auf und analysierten die gesamtdeutschen Bedarfe näher.

Das Ergebnis hat den Projektleiter selbst überrascht. »Nur etwa ein Drittel der Lkw ist überhaupt im Fernverkehr unterwegs – und von denen wiederum viele gar nicht auf so langen Strecken, dass sie eine Megawatt-Lade-Infrastruktur bräuchten«, fasst Plötz zusammen. Tatsächlich werden nur etwa zehn Prozent der Lkw das Megawatt-Laden langfristig brauchen. Für überflüssig hält der Wissenschaftler es allerdings keineswegs: »Das ist ähnlich wie beim Privat-Pkw. In der Regel lade ich das Fahrzeug zu Hause. Aber die paar Male, wo ich auf dem Weg in den Urlaub lange Strecken auf den Autobahnen hinter mich bringen muss, ist die Schnelllade-Infrastruktur elementar.« Der Geschäftsfeldleiter Energiewirtschaft am Fraunhofer ISI rechnet vor: »Bis zum Jahr 2030 brauchen wir mindestens 1000 Megawatt-Ladepunkte an 142 Standorten in Deutschland, wenn die Fahrer auch zur Hauptverkehrszeit nicht länger als fünf Minuten auf eine freie Ladesäule warten sollen.« ■

Schlauer Spion

Materialien sind stumm. Möchte man meinen. Wie sie dennoch kommunizieren und unser Leben sicherer machen könnten, untersuchen Forschende im Projekt SmartRust.

Von Yvonne Weiß

Zustand? Befriedigend. So lautete das Urteil für beinahe die Hälfte aller deutschen Autobahnbrücken im Jahr 2023. Ein Viertel der Brücken war sogar nur »ausreichend« gut in Schuss, knapp fünf Prozent nicht einmal das.

Die Ursachen sind vielfältig – Feuchtigkeit, schwankende Temperaturen, mechanischer Stress. Um herauszufinden, welche Umwelteinflüsse auf ein Objekt einwirken und es möglicherweise angreifen, verfolgen Forschende der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg FAU und des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC im Projekt SmartRust nun einen neuen Ansatz.

Die Idee: Magnetische Partikel werden bei der Herstellung in Materialien integriert. Da sie zum Großteil aus Eisenoxiden – Rost – bestehen, sind sie günstig in der Herstellung und Namensgeber des Projekts SmartRust, das von der EU über den renommierten ERC Consolidator Grant gefördert wird. Die Partikel sollen Informationen darüber liefern, was in der Vergangenheit mit Materialien passiert ist – und so selbst verborgene Mängel sichtbar machen.

»Wie viel Feuchtigkeit hat ein Objekt abbekommen? Wie viel Hitze? Hat es mechanischen Stress erfahren? Diese Fragen sollen uns die Partikel beantworten – wie kleine Spione«, erklärt Karl Mandel, Professor für Anorganische Chemie an der FAU sowie stellvertretender Instituts- und wissenschaftlicher Leiter am Fraunhofer ISC.

Die Überlegung: Die magnetischen Teilchen ermöglichen eine Kommunikation nach außen. »Wenn die Partikel miteinander wechselwirken, lässt sich das als Signal messen. Man könnte sagen, sie tuscheln miteinander – wie im Kindergarten«, so Projektinitiator Mandel.

Um nun Umwelteinflüsse messen zu können, möchten die Forschenden zudem nicht-magnetische Teilchen in Materialien unterbringen; gemeinsam mit den magnetischen Teilchen bilden sie einen sogenannten Suprapartikel.

Die nicht-magnetischen Partikel reagieren auf spezifische Umwelteinflüsse, wie etwa Kochsalz, das sich bei Feuchtigkeit auflöst. Unter dem Einfluss von außen verändert sich auch der Suprapartikel – und tuschelt nun anders als zuvor. Die Änderung des Signals lässt sich mit einem Hand-sensor aufzeichnen. Mit der richtigen Entschlüsselung erfahren Forschende so, was mit dem Objekt geschehen ist.

Die Anwendungsgebiete sind vielfältig. Selbst durch die verschlossene Verpackung eines Impfstoffs ließe sich prüfen, ob die Kühlkette unterbrochen und der Inhalt geschädigt wurde. In der Automobilindustrie könnte man herausfinden, ob Kunststoffkomponenten auf die vorgeschriebene Temperatur erhitzt wurden, um sie ausreichend fest zu verkleben. Gefährliche Risse, verborgen im Windradflügel, ließen sich ebenfalls frühzeitig entdecken und warten. Mandel: »Die Partikel könnten uns selbst in die unsichtbaren Tiefen eines Objekts Einblicke geben: schnell, günstig und ohne es zu zerstören.«

Ist die Technologie erst einmal im Einsatz, könnte sie laut dem Projektleiter besonders drei große Zukunftsfelder bedienen: die vorausschauende Wartung und somit mehr Produktsicherheit. Effizienteres Recyceln, da sich verlässlich bestimmen ließe, ob Kunststoff noch die wünschenswerten Eigenschaften besitzt. Und mehr Kontrolle in der Industrie 4.0, da Objekte Robotern künftig Feedback geben könnten – etwa, ob die Schraube auch wirklich richtig sitzt. Mandel ist optimistisch: »Ich finde die Vorstellung faszinierend, Materie in Zukunft zum Sprechen zu bringen.« ■

»Ich finde die Vorstellung faszinierend, Materie in Zukunft zum Sprechen zu bringen.«

Prof. Karl Mandel, Fraunhofer ISC

Eiserne Kraft:
Magnetische Partikel könnten helfen, Brücken sicherer zu machen.





EUROPA

Nachhaltig unterwegs auf hoher See

Der Seefrachtverkehr benötigt große Mengen an Treibstoff, der hauptsächlich aus fossilen Brennstoffen besteht. Dass es auch anders geht, wollen jetzt Forschende im europäischen Verbundprojekt GAMMA zeigen: Sie staten einen Massengutfrachter mit einem innovativen Energiesystem aus, das Elektrizität aus Wasserstoff erzeugt. Künftig sollen Brennstoffzellen den Strom für die Bordsysteme liefern und die Dieselgeneratoren ersetzen. Als alternative Energieträger für den Wasserstoff dienen Ammoniak und grünes Methanol. Photovoltaikmodule liefern die für die Umwandlung in Wasserstoff benötigte Energie. Das Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM entwickelt die Systeme, die Ammoniak und Methanol in Wasserstoff umwandeln, wie zum Beispiel speziell mit Katalysator beschichtete, kompakte Plattenwärmeübertrager, die auf maritime Anforderungen und den hohen Gesamtenergiebedarf von einem Megawatt ausgelegt sind. Die Technologien werden während des laufenden Betriebs evaluiert, um Effizienz, Kosten, Gewicht, Volumen, Tanksysteme und Sicherheitsvorkehrungen zu bewerten.

Dieser Frachter soll rund 60 000 Tonnen Ladung klimaneutral transportieren können.



Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Carnica- oder Buckfast-Biene? Schnell Gewissheit liefert bald ein KI-basiertes Analyse-Tool.



ÖSTERREICH

Bienen bestimmen mit KI

Knapp 700 Bienenarten summen durch Österreich. An einer KI-basierten Bilderkennung, die ihre Klassifizierung schnell ermöglicht, arbeiten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer Austria Innovationszentrum für Digitalisierung und Künstliche Intelligenz KI4LIFE. Die Identifizierung erfolgt durch die Vermessung bestimmter Flügelmerkmale wie der Schnittstellen der Flügeladern. Bisher werden Flügel-

fotos manuell mit Punkten markiert, aus denen ein Index errechnet werden kann, der die Zuordnung zu einer bestimmten Bienenart ermöglicht. Zur Automatisierung wurden in einem ersten Schritt bestehende universitäre Analyse-Tools auf ihre Genauigkeit und Funktionalität getestet. Ein größeres Folgeprojekt ist in Zusammenarbeit mit dem Kärntner Landesverband für Bienenzucht geplant.



FINNLAND

Hochpräzise Kartierung von Unterwasserstrukturen

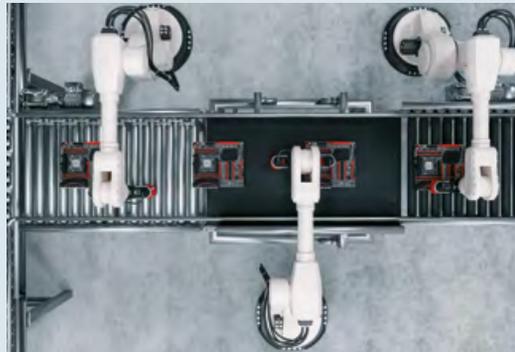


Offshore-Windparks können jetzt mithilfe von zwei innovativen LiDAR-Systemen vermessen werden.

An einem weltweit einzigartigen Monitoringverfahren, das präzise laserbasierte Messungen aus Unterwasser- und Luftaufnahmen kombiniert, arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Insti-

tuts für Physikalische Messtechnik IPM gemeinsam mit dem finnischen Geospatial Research Institute (FGI) im Projekt CoLiBri. Die Datenaufnahme erfolgt mit zwei kompakten Sensormodulen: einem mobilen, druckfesten Unterwasserscanner und einem ultraleichten Drohnenscanner. So lässt sich sowohl die Bodenstruktur millimetergenau erfassen, als auch die Wasseroberfläche und -tiefe sowie der Gewässerrand einschließlich des angrenzenden Geländes. Nach der Auswertung werden die Daten in einer sogenannten Punktwolke in einem einheitlichen Raum-Zeit-Koordinatensystem zusammengeführt, sodass eine zusammenhängende Darstellung beider Systemkomponenten entsteht.

Auch während einer Pandemie soll die Produktion in Zukunft nicht stillstehen.



FRANKREICH

KI macht Roboter effizienter

Intelligente und flexible Industrieroboter, die eine unterbrechungsfreie Produktion, einen hohen Automatisierungsgrad und einen geringen Energieverbrauch gewährleisten, sind das Ziel des deutsch-französischen Projekts GreenBotAI unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten an einer KI-basierten Programmierung, die es den Robotern ermöglicht, selbstständig Umgebungsbedingungen zu erkennen, sich

an Produktionsanforderungen anzupassen, komplexe Aufgaben spontan zu bewältigen und Fehler zu identifizieren. Technisch konzentriert sich GreenBot-AI auf die Reduzierung von Reaktions- und Latenzzeiten, optimierte Bahnplanung und die Ausführung von Aufgaben »on-the-fly«, also während sich der Roboter noch bewegt. Der Energieverbrauch soll durch datenreduzierte KI-Lösungen und schnellere Greifbewegungen deutlich sinken: 25 Prozent Reduktion sind bereits erreicht, 50 Prozent sind anvisiert.



Allein die Asiatische Tigermücke kann 20 verschiedene Viren übertragen, die für den Menschen gefährlich sind.



EUROPA

Epidemien verhindern

Wie hoch ist das Risiko für neue Zoonosen, also Infektionskrankheiten, die durch Tiere übertragen werden? Dieser Frage gehen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI zusammen mit einem interdisziplinären Forschungsteam im EU-Projekt ZOE nach. Ihr Ziel: Gefahren frühzeitig erkennen und Epidemien abwehren. Dafür untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Europa und Lateinamerika unter anderem die Biodiversität von Waldgebieten, in die der Mensch unterschiedlich stark eingegriffen hat. Sie kartieren mithilfe von Satellitenbildern und Feldforschungen die Landschaftsmerkmale sowie die dort vorkommenden Tier- und Pflanzenarten. Außerdem erfassen sie die Verbreitung potenziell gefährlicher Mikroorganismen, indem sie häufige Träger von Zoonoseerregern wie Nagetiere, Zecken und Mücken auf Bakterien und Viren testen. Das Fraunhofer IZI entwickelt Analyseverfahren, mit denen diese Proben umfassend und in großem Durchsatz auf entsprechende Antikörper untersucht werden.

Es werde Licht!

Mehr Sonne ins Büro
holen – dank geschickter
Lenkung der Strahlen ins
Rauminnere.

Wie lässt sich in Büros möglichst viel Tageslicht nutzen, ohne dass die Sonne blendet und die Räume sich aufheizen? Mikrooptische Komponenten im Fenster könnten eine Lösung sein.

Von Beate Strobel

Der Büromensch hat im Sommer ein Problem: Kaum scheint die Sonne, fahren viele Jalousien am Gebäude automatisch herab und sperren jegliches Sommergefühl aus. Gearbeitet wird dann sogar am helllichten Tag bei Kunstlicht. Ohne eine derartige Verdunkelung von außen heizen die Sonnenstrahlen den Raum allerdings schnell unangenehm auf und verursachen zudem lästige Blendeffekte am Bildschirm.

Forschende am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP haben sich auf die Suche nach dem goldenen Mittelweg zwischen Hell und Dunkel gemacht. In den vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekten TaLED und TaHo entwickelten sie in Kooperation mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft mikrooptische Komponenten für vertikale Glasfassaden. Sie sollen das Sonnenlicht nicht abblocken, sondern zunächst an die Decke umlenken, um dann mit dem Streulicht blendfrei auch die Tiefe des Raums zu erhellen – und das, ohne diesen extrem aufzuheizen. So werden nicht nur bis zu 80 Prozent der üblicherweise benötigten Energie für künstliche Bürobeleuchtung eingespart, sondern auch Strom für eine Raumkühlung durch Klimaanlage.

Die positive Wirkung geht aber über die Energiekosten hinaus: Studien belegen, dass Beschäftigte, die bei Tageslicht tätig sein können, tendenziell motivierter bei der Sache sind, sich länger konzentrieren können und auch weniger Fehler machen. »Acht Stunden bei Kunstlicht zu arbeiten, ist physiologisch wie psychologisch nicht optimal«, erklärt Dr. Jan de Boer, Gruppenleiter Lichttechnik und passive Solarsysteme am Fraunhofer IBP: »Menschen präferieren immer Tageslicht.«

Möglich wird die gezielte Umleitung der Sonnenstrahlen durch eine beidseitige sägezahnartige Mikrostrukturierung der Mittelscheibe eines 3-Scheiben-Isolierglases. Diese Struktur entsteht im Heißprägeverfahren sowie im Nano-Imprintverfahren. Was die kostengetriebene Baubranche freuen dürfte: »Die Fertigungsverfahren ermög-

lichen eine schnelle und günstige Produktion in hoher Stückzahl«, betont de Boer. »Die Nano-Imprint-Fertigung ist sogar ein Rolle-zu-Rolle-Verfahren, damit lassen sich die erforderlichen mikrooptischen Strukturen endlos auf Folien applizieren.«

Inwiefern die Technologie auch außerhalb des Labors überzeugt, konnten die Forschenden bereits an zwei Gebäuden demonstrieren: Die mikrooptischen Baukomponenten wurden in die Fassaden von drei Büros eines Verwaltungsbaus in Dortmund sowie in drei Klassenzimmer einer Krefelder Schule integriert; die Räume hatten stets eine Tiefe von mehr als vier Metern. Tatsächlich bestätigten sich die Erwartungen der Forschenden: Tageslicht konnte auch in fassadenfernen Bereichen deutlich besser genutzt werden.

Während die optimierten Fenster demnächst von einem der Projektpartner auf den Markt gebracht werden, arbeiten die Fraunhofer-Forschenden bereits an möglichen Varianten für Dachoberlichter. Die lassen zwar maximal Tageslicht in darunterliegende Räume, doch heizen sie diese auch schnell auf. Orientiert an der Architektur von Sheddächern, die intensitätsstarkes Direktlicht aus der südlichen Himmelsrichtung blockieren, aber diffuses, »kühleres« Nordlicht in die Gebäude lassen, wurden Gaubenstrukturen im Mikroformat entwickelt. Diese Strukturen wurden für erste Muster unter anderem in Metallfolien gestanzt und geprägt. Die Folien könnten künftig entweder fester Bestandteil der Verglasung sein oder aber – ähnlich einem Textilrollo – bei Bedarf über die Fensterfläche gezogen werden.

Dieser Projektteil, so de Boer, befindet sich noch im Laborstadium, doch über Skalierungsmöglichkeiten wird bereits nachgedacht. Denn dass die Nachfrage für eine Tageslichtnutzung über Bande künftig eher größer wird, leuchtet ein: Einerseits muss mit Energie, ob zum Beleuchten oder Kühlen, immer sparsamer gehaushaltet werden. Und andererseits: Wer wünscht sich nicht einen Arbeitsplatz an der Sonne? ■

»Acht Stunden bei
Kunstlicht zu arbeiten,
ist physiologisch wie
psychologisch nicht
optimal.«

Dr. Jan de Boer, Fraunhofer IBP



Foto: Joseffson/Westend61/mauritius images

Mehr Tageslicht:
Zum Video der Techno-
logie-Demonstration an
einer Krefelder Schule



[www.youtube.com/
watch?v=2D6Zr9Pww6s](https://www.youtube.com/watch?v=2D6Zr9Pww6s)





Foto & Fraunhofer

Hierfür haftet der Gecko

Für Forschende sind Geckos wahre Superhelden: Die Schuppenechsen können selbst spiegelglatte Flächen emporlaufen dank einer hierarchisch verzweigten Oberflächenstruktur ihrer Füße. Das Zusammenspiel feinsten Haare und Härchen schenkt dem Gecko einen wunderbaren Widerspruch: extrem gute Haftung auf nahezu jedem Untergrund, aber auch leichte Ablösung.

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale) haben sich daran ein Beispiel genommen und ein Verfahren entwickelt, das die Haftungseigenschaften von Polymeren erheblich verbessert. Deren Oberflächen erhalten durch Heißprägen eine hierarchische Strukturierung ähnlich dem Geckofüßchen-Prinzip. Als Prägewerkzeug dient hier Aluminium, das mittels Laser und anodischer Oxidation strukturiert wird und dann als eine Art Stempel fungiert.

Mit bloßem Auge ist die Veränderung der Kunststoffoberfläche auf der Mikro- und Nanoebene nicht

sichtbar: Der Durchmesser eines menschlichen Haares entspricht etwa 100 Mikrometern, und ein Nanometer ist noch einmal um das Tausendfache kleiner als ein Mikrometer. Doch diese Prägungen auf der Polymeroberfläche steigern die Haftkraft auf nasser Oberfläche um bis zu 85,4 Prozent.

Dr.-Ing. Andrea Friedmann, Biotechnologin am Fraunhofer IMWS, sieht für das patentierte Verfahren eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. Anfangs hatte sie an biomedizinische Anwendungen gedacht. Inzwischen gibt es aber auch Anfragen aus der Verpackungs-, Auto- und Luftfahrtindustrie – und sogar aus dem Bereich der Arbeitstextilien, um etwa die Haftung von Dachdeckerschuh zu erhöhen. Zusätzlicher Bonus ist laut Friedmann, dass die verbesserten Materialeigenschaften nicht auf Zusatzelementen wie Additiven oder Beschichtungen beruhen: »So können die Werkstoffe sortenrein bleiben, was ein späteres Recycling erheblich vereinfacht.«



Inspiration für die Wissenschaft:
Dank Millionen feinsten Härchen
an den Füßen haften Geckos
selbst auf Glasscheiben. Die
Haftkräfte übersteigen dabei
das Eigengewicht der Reptilien
um ein Vielfaches.

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

Erfolgreich mit Lasertechnologie

Gestartet ist sie vor 25 Jahren als Ein-Mann-Unternehmen in den Räumen des Fraunhofer IWS. Heute unterstützt die ALOtec Dresden Betriebe weltweit beim Laserhärten und Laserauftragsschweißen. Und setzt dabei weiter auf Fraunhofer-Forschung.

Von Beate Strobel

Forschungsergebnisse in die Anwendung zu bringen, ist das Ziel und Alleinstellungsmerkmal der Fraunhofer-Gesellschaft und ihrer Forschungsinstitute seit nunmehr 75 Jahren. Wie nachhaltig die dabei entstehenden Verbindungen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sein können, belegt die Firmenhistorie der ALOtec Dresden GmbH. Entstanden ist das Unternehmen Ende der 1990er-Jahre aus einer Idee von Prof. Ralf Eckhard Beyer, damals Leiter des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. Die Ausgründung sollte eine Möglichkeit schaffen, am Institut entwickelte Lösungen für die Lasermaterialbearbeitung regionalen wie überregionalen Unternehmen zu wirtschaftlichen Preisen anbieten zu können. Um das nötige Stammkapital

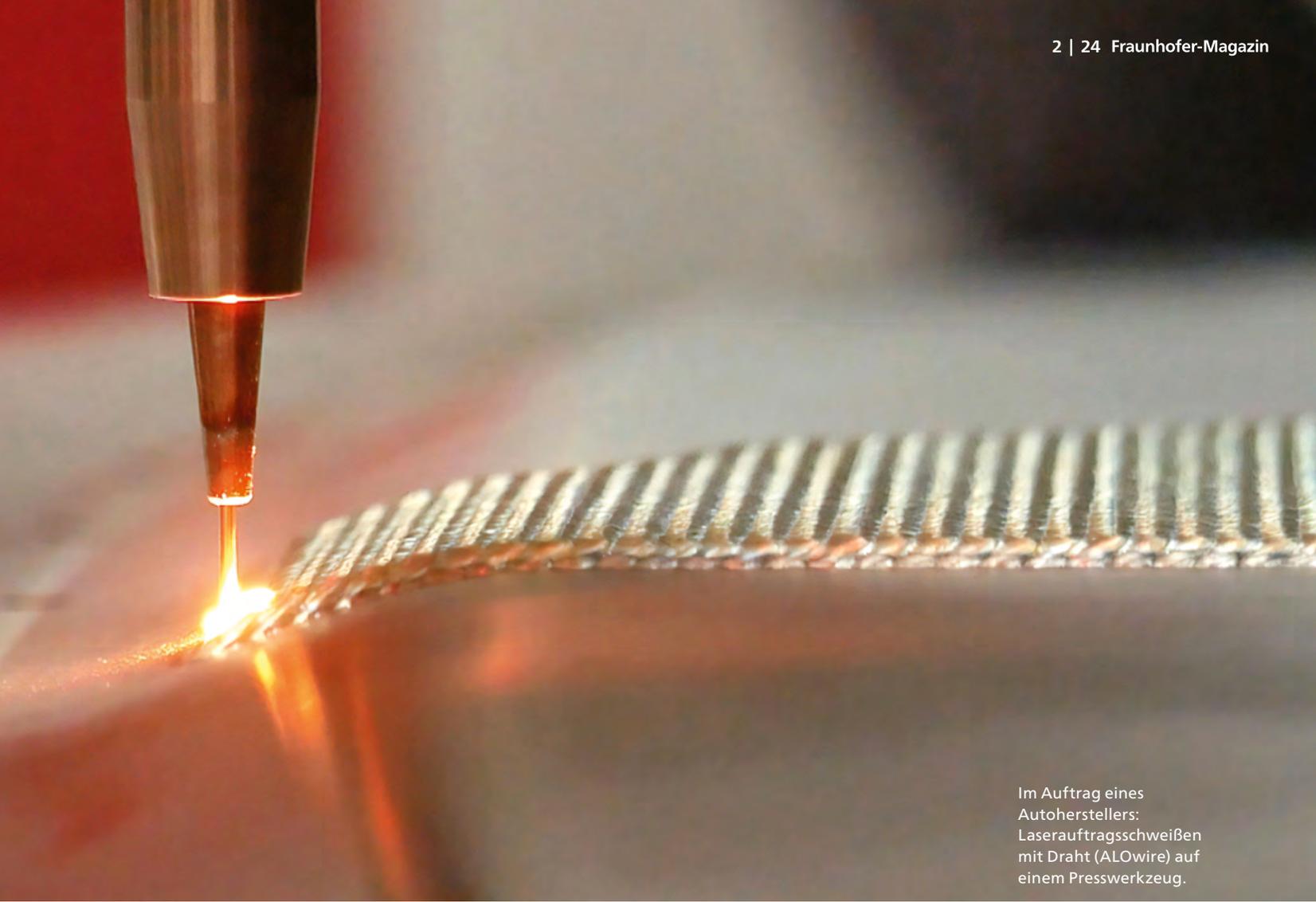
zusammenzubekommen, bot das Fraunhofer IWS damals auch Einzelpersonen eine finanzielle Beteiligung an dem Tech-Start-up an – quasi Crowdfunding, lange bevor die Schwarmfinanzierung zum Finanzierungstrend für innovative Geschäftsideen wurde. Bis heute zählen viele Mitarbeitende des Fraunhofer IWS zu den Gesellschaftern der ALOtec Dresden GmbH.

Erste Schritte in die Wirtschaftlichkeit machte das Jungunternehmen unter der Leitung von Geschäftsführer Dr. Eckehard Hensel noch vom Gelände des Fraunhofer IWS aus. Seit 2011 ist das sächsische Kesselsdorf westlich von Dresden der Firmensitz; der anfängliche Ein-Mann-Betrieb zählt inzwischen 17 Mitarbeitende. Auch das Geschäftsmodell hat sich im Laufe der Jahre ausgeweitet: Neben Auftragsfertigungen im Laserhärten, Laserpulver- und

Laserdrahtauftragsschweißen gehören nun auch die Entwicklung und Anfertigung kundenspezifischer Anlagen für Lasersysteme zum Leistungsportfolio sowie der mobile Einsatz von Anlagen zum Laserhärten, Auftragsschweißen und CMT-Schweißen. Die ALOflex etwa ist vermutlich eine der kleinsten und flexibelsten Laserbearbeitungsanlagen weltweit: Sie passt auf eine Europalette und lässt sich dank Raupenfahrwerk per Funkfernsteuerung ganz einfach an den Einsatzort bewegen.

Wiederverwenden und reparieren statt wegwerfen

25 Jahre nach dem Eintrag ins Handelsregister wird die Materialbearbeitung durch Laser weiter stark nachgefragt: »Die Technologie des Laserhärtens und Laserauf-



Im Auftrag eines Autoherstellers: Laserauftragsschweißen mit Draht (ALOWire) auf einem Presswerkzeug.

tragsschweißens ermöglicht eine gezielte und effiziente Nutzung von Energie und minimiert dadurch die Umweltbelastungen«, erklärt Dr.-Ing. Clemens Kuhn, seit 2021 Geschäftsführer bei ALOtec Dresden. »Mit diesen Verfahren erreichen wir eine verbesserte Langlebigkeit stark beanspruchter Bauteile und nachhaltige Lösungen durch die Reparatur und Wiederverwendung alter oder defekter Komponenten.«

In Kooperation mit ALOtec entwickelte das Fraunhofer IWS bestehende Laserbearbeitungsprozesse weiter. Etwa das Laserhärten mit Wärmefeldregelung auf Basis des dynamischen Strahlformungssystems LASSY: Ziel war hier, den Laserstrahl mit einer langen Brennweite sowie festem runden oder rechteckförmigem Fokus über ein Schwingspiegelsystem zu leiten, um auch komplexeste Bauteilgeo-

»Wir sammeln Impulse aus der Praxis und tragen Themen und Anforderungen aus der Wirtschaft und Fertigung an Fraunhofer heran.«

Dr.-Ing. Clemens Kuhn,
ALOTec Dresden GmbH

metrien wie Freiformflächen, Kofferecken oder spitz zulaufende Schneidkanten härten zu können. Die Temperaturverteilung an der Oberfläche kann dabei über das am Fraunhofer IWS entwickelte Pyrometer »Efaqs« oder eine spezielle Wärmebildkamera (»Emaqs«) berührungslos und präzise erfasst werden: Mit beiden Systemen ist dann der eigentliche Wärmefeldregler in der Lage, die Laserleistung entsprechend anzupassen und damit geometriebedingte Temperaturabweichungen zu kompensieren.

»Unsere Partnerschaft mit dem Fraunhofer IWS ist nicht nur von gemeinsamen Projekten geprägt, sondern generell von einem regen Austausch«, betont Geschäftsführer Kuhn: »Wir sammeln Impulse aus der Praxis und tragen Themen und Anforderungen aus der Wirtschaft und Fertigung an Fraunhofer heran.« ■

Fit für das 21. Jahrhundert

Über PISA hinausgedacht: Mit einem vom Fraunhofer FIT entwickelten Testverfahren lassen sich erstmals die Kernkompetenzen für die Arbeitswelt von morgen messen.

Von Beate Strobel

Lernen am Laptop: Medienkompetenz ist eine der Fähigkeiten, die immer wichtiger werden.

Kann Schule nicht ein bisschen mehr wie TikTok sein? Was wie der Stoßseufzer eines Teenagers klingt, fasst das Vorhaben des gemeinnützigen Start-ups DigitalSchoolStory (DSS) gut zusammen. In DSS-Projekten wandeln Schülerinnen und Schüler ausgewählte Lerninhalte um in Videoclips im Social-Media-Format – im Team und unterstützt von ihren Idolen auf Plattformen wie Instagram und YouTube.

Goethe auf TikTok statt auf Papier? Für Vertreter der Boomer-Generation klingt das schnell wie eine Infantilisierung der Schule. Doch die DSS-Lernmethode ist alles andere als Spielerei. Sie will jene »soft skills« stärken, die bislang in Bildungstests wie der PISA-Studie keine Rolle spielen, aber für den beruflichen Erfolg in zunehmend digitalisierten und automatisierten Arbeitswelten essenziell sein werden. Um diese Kompetenzen messbar zu machen und so ihre Implementierung in schulischen Lehrplänen zu beschleunigen, haben Forschende am Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT nun ein neues Testverfahren entwickelt.

Denn Faktenwissen allein reicht nicht mehr aus in der sogenannten VUCA-Welt des 21. Jahrhunderts – geprägt durch Unbeständigkeit (volatility), Unsicherheit (uncertainty), Komplexität (complexity) und Mehrdeutigkeit (ambiguity). »Diese Welt belohnt uns nicht mehr allein für das, was wir wissen – Google weiß ja schon alles –, sondern für das, was wir mit dem, was wir wissen, tun können«, erklärt Bildungsforscher und OECD-Direktor Andreas Schleicher im OECD Learning Compass 2030.

Mit den 4K das Bildungsideal neu denken

Die amerikanische Non-Profit-Organisation Partnership for 21st Century Learning (P21) hat zunächst vier Kernkompetenzen definiert, um mit der wachsenden Komplexität der Welt zurechtzukommen und diese zu gestalten: Kreativität und

Innovation, kritisches Denken und Problemlösen, Kollaboration und Kommunikation. Anstatt Bildung vorrangig also zu verstehen als die Vermittlung von Abfargewissen, müssen die Schülerinnen und Schüler beim DSS-Ansatz sich das Wissen nicht nur selbstständig erarbeiten, sondern es anschließend so aufbereiten, dass auch andere die Problematik verstehen. Wer je versucht hat, komplexe Sachverhalte in eine schlüssige Story umzuwandeln und in einem 90-Sekunden-Clip verständlich zu erklären, der weiß, dass das keine Spielerei ist.

Die Leistungen der Schülerinnen und Schüler weltweit in den Basiskompetenzen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften werden regelmäßig mit der PISA-Studie gemessen. Doch was ist mit den Kernkompetenzen für das 21. Jahrhundert? »Für die Erfassung der 4K existierte bislang im deutschsprachigen Raum kein entsprechendes Messinstrument«, erklärt Gülsah Keskin, Projektleiterin am Fraunhofer FIT. Die sei aber nötig, denn »erst wenn sich die Wirksamkeit eines Lehrkonzepts empirisch belegen lässt, hat es bessere Chancen, bildungspolitisch mehr Sichtbarkeit zu erlangen«.

Das Messinstrument, das die Psychologin in Kooperation mit der DSS entwickelt hat, erfasst die 4K sowie Medienkompetenz als zusätzliche Fähigkeit (Modell 4Kplus). Anders als PISA prüft es jedoch kein Wissen: 25 Fragen – 5 bis 8 Items pro Kompetenz – eruieren die Selbsteinschätzung der Schüler und Schülerinnen auf einer fünfstufigen Skala. Die Lehrkraft füllt ebenfalls einen Fragebogen pro Schülerin oder Schüler aus, sodass die Selbsteinschätzung durch eine Fremdwahrnehmung ergänzt wird.

Die Projektgruppe des Fraunhofer FIT setzte das Messinstrument an mehreren Schulen vor und nach dem DSS-Projekt ein. Das Ergebnis: Vor allem in den Kompetenzen Kreativität und Innovation, kritisches Denken und Problemlösen sowie Medienkompetenz beobachteten die Lehrkräfte positive Veränderungen – auch wenn die Schülerinnen und Schüler diese nicht

ganz so deutlich wahrnahmen. Durch den regulären Unterricht allein veränderten sich die 4K nicht signifikant.

Das Lernen nach dem TikTok-Prinzip funktioniert, schlussfolgert das Start-up DigitalSchoolStory: Die co-kreative Entwicklung von Videoformaten stärkte Medienkompetenz und kritisches Denken. Auch Projektleiterin Gülsah Keskin interpretiert die Studienergebnisse als eine Ermutigung, weiter an der Messung der 4Kplus sowie an der Entwicklung didaktisch innovativer digitaler Lehrkonzepte zu forschen. Sie hofft, dass die Erfassung der Kernkompetenzen schon bald die objektive Wissensabfrage in der PISA-Studie um eine subjektive Komponente der Kompetenzbeurteilung ergänzt, um so sinnvolle Impulse für die Bildung der jungen Generation zu erhalten.

Für das Leben lernen mit dem TikTok-Prinzip

Nicht für das Leben, sondern für die Schule lernen wir, bilanzierte der römische Philosoph Lucius Annaeus Seneca schon 62 n. Chr. mit spitzer Feder: Das, was an der Schule unterrichtet würde, helfe nicht, »richtig zu leben, sondern bestenfalls, gelehrt zu reden«. Seine Kritik ist bis heute aktuell. Im Alltag erlebt Gülsah Keskin immer wieder, »dass jede der fünf Kernkompetenzen wichtig ist für den beruflichen Erfolg«. Einige Elemente dieser Kernkompetenzen zeigen sich idealerweise bereits im Vorstellungsgespräch mit Bewerberinnen und Bewerbern: »Wie bestimmte Systeme funktionieren, kann jeder schnell lernen. Aber problemorientiertes Denken, die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen sowie die konstruktive Zusammenarbeit mit anderen Menschen und Kulturen lassen sich nicht in einer zweistündigen Fortbildung vermitteln.« Die Integration der 4Kplus in die schulische und womöglich auch berufliche Ausbildung sei von Bedeutung – damit die nächste Generation nicht nur für die Schule, sondern tatsächlich für das Leben lernt. ■

»Darm auf 16 Beinen«

Können Raupen helfen, Morbus Crohn zu erforschen? Das Fraunhofer IME zeigt, wie das geht, und hat nicht nur Lösungen für chronische Darmerkrankungen, sondern auch für mehr Biodiversität parat.

Von **Stefanie Smuda**

Sie ist knapp zehn Zentimeter lang, daumendick und frisst sich genüsslich durch das Blatt einer Tabakpflanze: Die Raupe des Tabakschwärmers (*Manduca sexta*) lebt eigentlich nur in Amerika, sie ist aber auch in den Laboren des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen heimisch geworden. Anton Windfelder, Junior-Gruppenleiter am Fraunhofer IME, nennt die Raupen scherzhaft »Darm auf 16 Beinen«. Für ihn ist das eine Auszeichnung: »Der Darm von Säugetieren und Insekten ist miteinander vergleichbar – vor allem, wenn man sich das Immunsystem ansieht. Insgesamt sind circa 75 Prozent der Gene, die eine Erkrankung beim Menschen auslösen können, auch bei Raupen vorhanden.«

Deshalb können die Larven des Tabakschwärmers als Modellorganismus für menschliche Erkrankungen genutzt werden. Am Fraunhofer IME werden an ihnen zum Beispiel chronisch entzündliche Darmkrankheiten wie Morbus Crohn erforscht sowie potenzielle Therapien entwickelt und getestet. Neben den Ähnlichkeiten beim Immunsystem und der Darmstruktur punktet die Tabakschwärmerraupe auch mit ihrer Körpergröße: Mit bis zu acht Zentimetern Länge erreicht sie nicht nur die Abmessungen einer Maus, auch das Darmvolumen ist vergleichbar – außerdem ist sie groß genug, um sie bei bildgebenden Verfahren einzusetzen.

Mit Partnern aus Düsseldorf und New York haben Windfelder und sein Team eine innovative Bildgebungsplattform entwickelt: Per Computertomographie (CT),

Magnetresonanztomographie (MRT) und Positronen-Emissions-Tomographie (PET) können die Gießener Forscherinnen und Forscher Entzündungen im Insekten Darm zielgenau diagnostizieren. Der Vorteil: Binnen kurzer Zeit können viele Insekten untersucht werden, um den gesamten Darm zu analysieren – im klinischen CT zum Beispiel 100 Raupen in wenigen Sekunden. Wenn gezielt eine bestimmte Darmregion betrachtet werden soll, kommen Kleintier-MRTs und -CTs mit höherer Auflösung zum Einsatz. Sie verschaffen den Forschenden mehr Informationen und bessere Einblicke. Eine Kombination beider Methoden führt laut Windfelder zu den aufschlussreichsten Ergebnissen. Die Raupen überstehen Narkose und Bildgebungsverfahren problemlos und leben unversehrt weiter. Um detaillierte 3D-Atlanten der Darmoberfläche des Tabakschwärmers zu erstellen, haben die Forschenden des Fraunhofer IME auch Rasterelektronenmikroskopie und Nano-Computertomographie genutzt. Das bietet Studierenden nun die Möglichkeit, die komplexe Struktur des Insekten Darms per VR-Brille zu erkunden.

Muskel- und Stoffwechselerkrankungen untersuchen

Auch in der biomedizinischen Forschung ergeben sich vielfältige Einsatzgebiete für das Raupenmodell: »Fragestellungen rund um den Darm und zum Immunsystem lassen sich sehr gut an Insekten erforschen. Allerdings gibt es Grenzen, da Insekten nicht über eine B- und T-zellbasierte adaptive Immunantwort verfügen – Antikörperforschung ist also nicht

möglich«, schränkt Windfelder ein. Dafür könne man unter Berücksichtigung anatomischer Unterschiede Erkrankungen der Muskulatur und des Stoffwechsels untersuchen. Im Labor testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler etwa neue Medikamente und deren korrekte Dosis an den Raupen.

Gemeinsam mit Chemikern der Universität Twente aus den Niederlanden und der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf haben Windfelder und sein Team *Manduca*-Larven eingesetzt, um in vivo ein neues MRT-Kontrastmittel zu testen. Die Kooperationspartner haben ein biologisch abbaubares Phosphor-Kontrastmittel als umweltfreundlichere Alternative entwickelt. »In den In-vivo-Tests hob sich der neue Wirkstoff klar und deutlich vom Hintergrund der Larven ab und blieb über 24 Stunden in der Hämolymphe, dem Blut der Larven, nachweisbar«, erläutert Windfelder.

Ein weiteres Einsatzgebiet mutet wie die Paradedisziplin für die Larven des Tabakschwärmers an: Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer IME erforschen das Insektensterben im Zusammenhang mit Pestiziden. Bislang gibt es nur wenige Testverfahren, die sich vor allem auf Kontaktexpositionen konzentrieren. Doch Insekten nehmen die Pestizide in der Regel oral auf, wo die Giftstoffe auf den Darm wirken. »Mithilfe unserer funktionalen Bildgebungsmethoden können wir analysieren, was im Insekten Darm passiert, und wir können darauf basierend objektive Messgrößen für Behörden und die Industrie entwickeln«, sagt Windfelder. Künftig kann dann getestet werden, in welcher Form Pestizide schädlich für Insekten sind. ■

»Insgesamt sind circa 75 Prozent der Gene, die eine Erkrankung beim Menschen auslösen können, auch bei Raupen vorhanden.«

Anton Windfelder,
Fraunhofer IME

In der Landwirtschaft ein Schädling, für die Forschung ein Nützling: die Raupe des Tabakschwärmers.



Glas heilt Brüche

800 000 Knochenbrüche werden in Deutschland pro Jahr behandelt. Einen Weg zur schnelleren und zuverlässigeren Heilung entwickelt das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM – mit biodegradierbarem Polymer und bioaktivem Glas.

Von Anja Wächter

Knochendefekte schneller und zuverlässiger heilen: Daran arbeiten Forschende am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen. Gemeinsam mit der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Heidelberg und dem Medizintechnikunternehmen BellaSeno aus Leipzig haben sie ein Kompositmaterial für eine Stützstruktur entwickelt, mit der man Knochenbrüche besser therapieren kann. Die Technik wird im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekts SCABAEGO (Scaffold bio-active glass enhanced osteogenesis) realisiert.

Jahr für Jahr werden in Deutschland rund 800 000 Knochenbrüche behandelt. Bei bis zu zehn Prozent der Fälle heilt der Knochen nicht optimal aus und ein segmentaler Knochendefekt entsteht (Pseudarthrose oder Non-Union). Dadurch ist der

Knochen nicht belastungsfähig und es kommt zu wesentlichen Einschränkungen der Aktivitäten des Patienten oder der Patientin im Alltag und zu dauerhaften Schmerzen. Nicht selten ist der Grund für das Ausbleiben der Knochenheilung eine »leise« Infektion (Low-Grade-Infektion). Dann steht meist ein weiterer Krankenhausaufenthalt mit Nachoperation und Langzeitbehandlung an. Auch Kliniken fürchten die Komplikationen, denn sie ziehen aufwendige und kostenintensive Therapien nach sich.

Weltweit werden solche Defekte behandelt, indem dem Patienten gesundes Knochenmark entnommen und in den Defekt transferiert wird. Dennoch kommen herkömmliche Behandlungsmethoden an ihre Grenzen, wenn es darum geht, große (> 5 cm) oder infizierte Knochendefekte zu behandeln. Der Grund: Die weiche Knochensubstanz kann nur schwer an der Defektstelle fixiert werden, um einen sicheren Einheilungsprozess





Knochenhart und doch empfindlich: Nach Brüchen werden häufig Nachoperationen und aufwendige Langzeitbehandlungen nötig.

zu gewährleisten, und womöglich eine lokale Infektion gleichzeitig behandelt werden muss. Hier setzt SCABAEGO an. »Unser Kompositmaterial kombiniert das biodegradierbare Polymer Polycaprolacton mit bioaktivem Glas«, erklärt Dr. Kai Borchering, Geschäftsfeldleiter Medizintechnik und Life Sciences am Fraunhofer IFAM. Aus diesem Material erstellt der Projektpartner BellaSeno mittels 3D-Drucktechnologie ein maßgefertigtes Stütz- und Leitgerüst für die Defektstelle im Knochen, das sogenannte Scaffold. Die Daten für die individuelle Formgebung des Scaffolds stammen aus einer Computertomografie des gebrochenen Knochens.

Bei bis zu zehn Prozent der Knochenbrüche kommt es nicht zu einer ausreichenden Knochenheilung und ein segmentaler Knochendefekt entsteht.

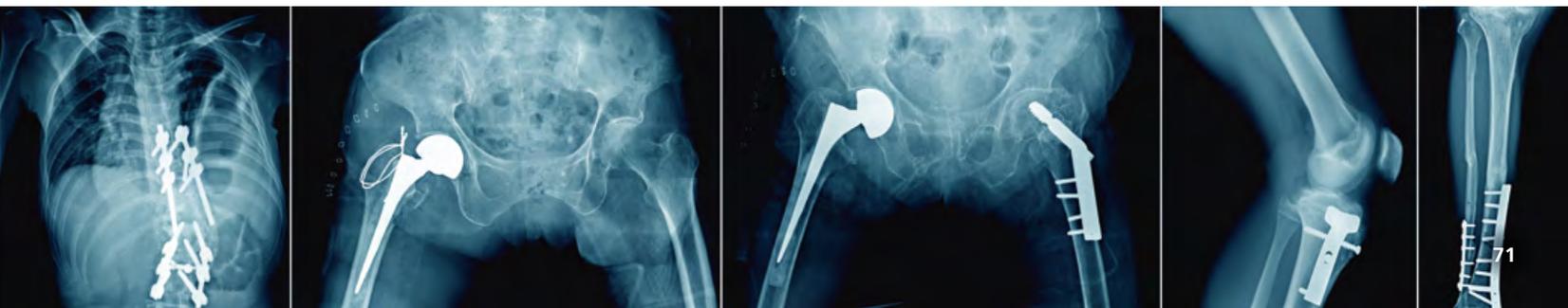
Dr. Tobias Großner, Oberarzt und Leiter der Experimentellen Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Heidelberg, erklärt die Vorteile des Verfahrens: »Bei einer Operation wird Knochen substanz aus dem Beckenkamm oder dem Markraum der großen Röhrenknochen entnommen und dann an der Fehlstelle des gebrochenen Knochens eingefüllt. Das Scaffold mit seiner Gitterstruktur sorgt dafür, dass das eingefüllte Knochen transplantat-Material sicher vor Ort bleibt und sich neuer Knochen bilden kann.«

Im Gegensatz zu bisherigen Verfahren wird so das Risiko einer Dislokation des transplantierten Knochenmarks minimiert und die Gefäßeinsprossung kann ungestört erfolgen, sodass der Defekt sicher heilen kann. Etwaige Bakterien werden durch das bioaktive Glas in ihrem Wachstum gehemmt.

Risiko von Infektionen reduzieren

Die Kombination aus Polycaprolacton (PCL) und bioaktivem Glas hat weitere Vorteile. Zum einen verwandelt sich das Material im Körper in eine knochen nahe Substanz, zum anderen wirkt das bioaktive Glas möglichen Infektionen entgegen. Fraunhofer-Experte Kai Borchering: »Unsere ersten Tests haben nachgewiesen, dass die biologische Aktivität des Komposits genau im angestrebten Zielbereich der Hemmung des Bakterienwachstums liegt. Es konnte eine Reduktion von MRSA – dem Methicillin-resistenten Bakterium Staphylokokkus aureus – um vier Log-Stufen beziehungsweise 99,99 Prozent auf dem Komposit nachgewiesen werden. Dieses antibiotikaresistente Bakterium ist für schwer behandelbare Infektionen verantwortlich. Das Ergebnis überzeugt also hinsichtlich Oberflächenschutz des Implantats und Verringerung des Infektionsrisikos.«

Das SCABAEGO-Forschungsteam arbeitet derzeit mit dem Universitätsklinikum Heidelberg daran, das Konzept weiter zu verfeinern. Gleichzeitig optimiert das Team das Mischungsverhältnis des Komposits, insbesondere den Anteil von Glas. Borchering: »Unser Ziel ist es, möglichst viele der biologisch positiven Eigenschaften von Glas zu nutzen, gleichzeitig aber die nötige Festigkeit des Scaffolds zu bewahren.«



RoboKeeper – der schnellste Torwart der Welt

Manuel Neuer oder Marc-André ter Stegen? Wenn es um die Nummer eins im Tor der Nationalelf geht, hat Deutschland ein Luxusproblem. Jetzt macht den Weltklassetorhütern auch noch der RoboKeeper Konkurrenz.

Von Manuel Montefalcone

Bild rechte Seite:
Weltklasse ohne Motor –
Keeper Manuel Neuer

Der andere Titan im Tor:
Auch der Hightech-Keeper
hält den Kasten sauber.



Gegen ihn hatten selbst Spieler-Legenden wie Lionel Messi oder Neymar keine Chance: Der RoboKeeper aus dem Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML hält mithilfe von 3D-Bildverarbeitung, Steuer-Regel-Technik und Algorithmik nahezu jeden Ball. Entwickelt wurde der lebensgroße Tipp-Kick-Fußballer während der WM 2006 in Deutschland. Seitdem war er weltweit auf zahlreichen Events im Einsatz und wird ständig optimiert. Pünktlich zur EM 2024 erschien die neueste Version.

In Zeiten von Künstlicher Intelligenz (KI) scheint der Roboter-Torwart auf den ersten Blick unspektakulär: Zwei Kameras analysieren die Flugbahn des Fußballs nach dem Torschuss, ein Motor setzt den Torwart in Bewegung. Ganz ohne KI. Doch bei genauerer Betrachtung wird deutlich, wie ausgeklügelt die Mechanismen hinter dem RoboKeeper sind. »KI wäre für unseren Torwart nicht clever genug«, erklärt Ingenieur Thomas Albrecht, Leiter Fahrerlose Transportsysteme am Fraunhofer IML. »Sie würde den RoboKeeper vermutlich eher verlangsamen und verteuern.«

Schneller als ein Formel-1-Wagen

Die Torwartfigur ist an einer Motor-Getriebe-Kombination mit hoher Leistungsdichte und Dynamik angebracht. Der Antrieb, die zugehörige Motorsteuerung und die zwei Gigabit-Farbkameras sind mit einem Rechner verbunden, auf dem eine 3D-Bildverarbeitungssoftware läuft. Dabei arbeiten alle Komponenten – Motor, Kameras und Software – auf höchstem Niveau. Schließlich muss der RoboKeeper auch einen Elfer von Messi und Neymar (auf-)halten können. Bereits 50 Millisekunden nach dem Abschuss weiß das System, wo der Ball im Tor landen wird – bei einer Schussgeschwindigkeit von 100 Kilometern pro Stunde hat der Ball zu diesem Zeitpunkt bereits 1,5 Meter zurückgelegt. Unmittelbar nach dem Abschuss erfassen ihn die Kameras mit 90 Bildern pro Sekunde (90 fps). Die Bildverarbeitungssoftware berechnet dann eine Parabel, die die Flugbahn beschreibt, und das System zeigt dem Keeper an, wo der Ball trifft. Ein Antrieb mit einer Motorleistung von 21 Kilowatt (rund 28,55 PS) beschleunigt und bremst die Torwartfigur mit 20-facher Erdbeschleunigung – 17-mal schneller als ein Formel-1-Wagen. Die Fingerspitzen

der Figur erreichen dabei eine Höchstgeschwindigkeit von 53 Kilometern pro Stunde.

Weltweit im Einsatz und (fast) unschlagbar

Kein Wunder, dass der RoboKeeper mittlerweile ein echter Exportschlager ist. 44 Exemplare sind heute weltweit im Einsatz, vertrieben von einem Sport-Vermarktpartner. Insbesondere die Software wurde in den letzten Jahren ständig verbessert. Aber auch Hardwarekomponenten wie Kamera, Motor und Rechner wurden durch moderne und leistungsfähigere Geräte ersetzt. Richtig spannend ist das aktuelle Upgrade, denn auch der RoboKeeper ist nicht unfehlbar: »Bälle können im Tor landen,

wenn der Schuss sehr hart ist oder in die oberen Ecken geht, weil sie der RoboKeeper aufgrund seiner Abmessungen nicht erreichen kann«, sagt Albrecht.

Schüsse aus zehn Metern Entfernung, die mit bis zu 100 Kilometern pro Stunde flach in die linke oder rechte Ecke geschossen werden, sind für den Keeper am schwierigsten zu halten. Gerade haben die Forschenden am Fraunhofer IML einen »Ballrückholroboter« entwickelt, der den Ball dann automatisch zum Spieler zurückbringt.

Auch wenn der RoboKeeper selbst für geübte Spieler eine echte Herausforderung ist: Unsere Nationalmannschaft mit ihm zu trainieren, hält Albrecht für nicht zielführend. »Wenn unsere Spieler das gezielte Torschießen üben, ist es natürlich sinnvoll, den Torwart der National-Elf gleich mitzutrainieren.« Immer wieder gegen Top-Schützen anzutreten, schafft Erfahrungswerte, die Weltklassetorwarte wie Manuel Neuer auszeichnen – und die sie dem RoboKeeper immer voraushaben werden. ■



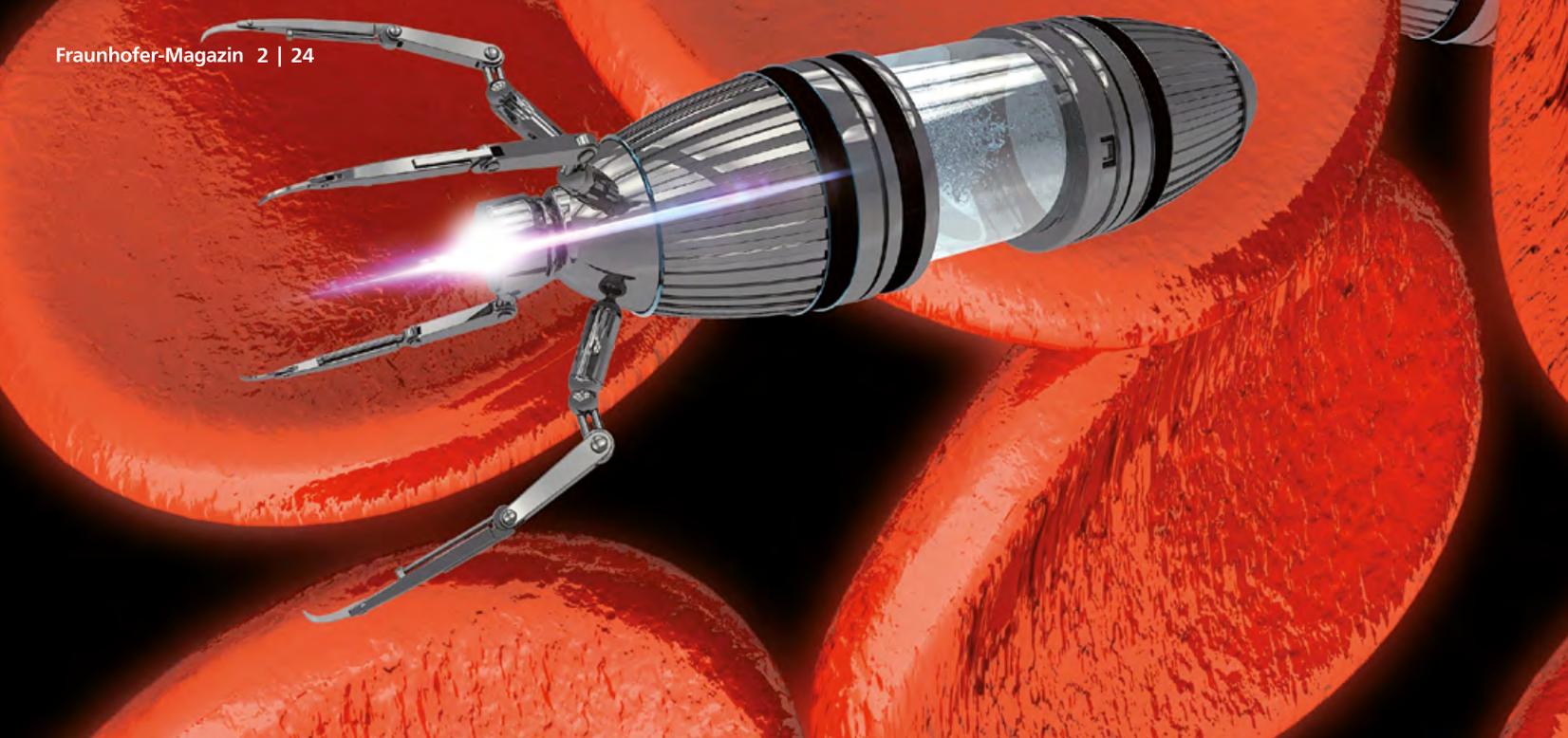
Im Video

Messi und Neymar stellen den RoboKeeper in Barcelona auf die Probe.



www.youtube.com/watch?v=gp23q8VAi5E





Leinen los!

Winzige U-Boote sollen in unserem Körper Medikamente direkt an ihren Einsatzort transportieren oder lebensbedrohliche Aneurysmen verschließen. Gesteuert werden sie mithilfe von Magneten.

Von Dr. Sonja Endres

Ein Mikro-U-Boot, das über die Blutbahnen Wirkstoffe gezielt zum Tumor bringt? Wer hier an den Science-Fiction-Klassiker »Die phantastische Reise« mit Raquel Welch aus dem Jahr 1966 denkt, liegt nicht ganz falsch. In dem Film wird ein Forschungsteam mitsamt U-Boot geschrumpft, um ein tödliches Blutgerinnsel im Gehirn eines Patienten zu entfernen. Im Unterschied zur fiktiven Vorlage benötigt das Mikro-U-Boot aus der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE jedoch keine miniaturisierte Besatzung für die Navigation. »Wir steuern unser U-Boot, das mit Eisenoxid beschichtet ist, mithilfe eines rotierenden Magnetfelds von rund 10 bis 20 Hertz zu seinem Wirkort«, erklärt Dr. Anna Christin Bakenecker, Gruppenleiterin Magnetische Methoden. So können beispielsweise Chemothera-

peutika direkt zum Tumor transportiert werden, was eine erheblich schonendere Behandlung ermöglicht, weil sie ihre zerstörerische Kraft nicht im ganzen Körper entfalten – häufige Nebenwirkungen wie schuppige und trockene Haut, entzündete Schleimhäute oder Haarausfall ließen sich deutlich reduzieren. Bakenecker betont: »Die Magnetfelder sind für den Menschen unschädlich und können daher gefahrlos in tiefe Körperregionen vordringen.«

Auch für die therapeutische Hyperthermie könnte das Mikro-U-Boot genutzt werden, also für das Überwärmen des Tumors, um mithilfe dieses lokal begrenzten, künstlichen Fiebers Krebszellen abzutöten. Bereits heute kommt die Hyperthermie bei der Krebstherapie zum Einsatz, zumal sie den Tumor auch sensibler für Wirkstoffe macht. Bisher verwenden die Medizinerinnen und Mediziner dafür fo-

kussierten Ultraschall. Bakenecker und ihr Team nutzen stattdessen ein wesentlich höher frequentiertes Magnetfeld von 400 bis 700 Kilohertz, sodass die magnetischen Eisenoxid-Nanopartikel wie Tausende winzige Kompassnadeln schnell hin- und herspringen – Wärme entsteht. Aufgrund der Magnetfeld-Konfiguration lässt sich sehr genau festlegen, wo sich das Gewebe erhitzen soll. Bakenecker: »Ein großer Vorteil gegenüber dem eher unspezifischen Ultraschall-Verfahren.« Die Forscherinnen und Forscher können die Signale, die die magnetischen Nanopartikel erzeugen, in Echtzeit auslesen. So wissen sie immer präzise, wo sich das U-Boot befindet, und können beispielsweise auch die Umgebungstemperatur ermitteln – für Bakenecker ein wichtiger Pluspunkt: »Bei der Ultraschall-Methode weiß man nie: Welche Wärme entwickelt sich tatsächlich im Tumor?«



»Wir arbeiten an einer ganzen Mini-Mikro-Nano-Roboter-Flotte. Die Bandbreite der neuen Technologie ist enorm.«

Dr. Anna Christin Bakenecker, Fraunhofer-Einrichtung IMTE

In Form, Größe und Material je nach Einsatzort im Körper variabel: die smarten Transporter aus der Fraunhofer IMTE.

Seit drei Jahren arbeitet das Forschungsteam der Fraunhofer IMTE in enger Kooperation mit der Uniklinik Lübeck an den U-Booten, die anfangs noch rund drei Millimeter maßen – und damit für viele medizinischen Anwendungen zu groß waren. Inzwischen ist es mithilfe ausgefeilter 3D-Drucktechnik an der Fraunhofer IMTE gelungen, sie auf 400 Mikrometer zu verkleinern. Im Gegensatz zum älteren Modell, das eher einer Minifusill-Nudel glich, erinnert das neue an eine Schraube. Bakenecker erklärt: »Wenn man sehr viel kleiner wird, braucht man aus physikalischen Gründen für den Vortrieb eine andere Form. Das ältere U-Boot hat sich wie ein Schiffsantrieb vorwärtspropellert, das neue schraubt sich nach vorne.«

Während die Miniaturisierung bereits gelungen ist, tüfteln Bakenecker und ihr Team noch am perfekten Fertigungsmaterial. Dafür testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene Hydrogele – Gele aus Polymeren, die Wasser binden können. »Es gibt eine große Bandbreite an Hydrogelen, die superspannende Eigenschaften haben, gut verträglich und für verschiedenste Anwendungen

geeignet sind«, schwärmt Bakenecker. Auch könne man sie beispielsweise gleich mit Wirkstoffen versetzt drucken. »Zurzeit arbeite ich mit einem Hydrogel, das sich auflöst, sobald sich der pH-Wert ändert, wie es in der Nähe von Tumoren der Fall ist. Das Mikro-U-Boot würde dann am Zielort zerfallen und dabei das Therapeutikum freigeben.« Auch die Eisenoxid-Beschichtung ist vom Körper abbaubar und daher gut verträglich.

Um Wirkstoffe in schwer erreichbare Körperregionen zu bringen, zum Beispiel in Gelenke, will Bakenecker die Transporter sogar noch kleiner machen: »Wir verzichten auf unser U-Boot als Vehikel und nutzen einfach nur die Eisenoxid-Nanopartikel, an denen die Wirkstoffe binden. Natürlich braucht man eine große Menge an Partikeln, um auf eine angemessene Dosis zu kommen. Die rauschen dann wie ein Bienenschwarm durch den Körper, gelenkt durch unser Magnetfeld.« Die Nano-Transporter könnten in verletzten Gelenken dafür sorgen, dass sich entzündungshemmende Mittel besser verteilen. Bakenecker: »Gelenkflüssigkeit ist sehr

zähflüssig, Medikamente verbreiten sich hier sonst nur schwer.«

Für andere Anwendungen sind wiederum die größeren Mikro-U-Boote besser geeignet, zum Beispiel, wenn mehr Wirkstoff transportiert werden muss oder für den Verschluss eines lebensbedrohlichen Aneurysmas – also einer Aussackung in einer geschwächten Arterienwand, in der sich Blut sammelt und die zu platzen droht. Bakenecker: »In diesem Fall würden wir unser U-Boot nicht für den Arzneimittel-Transport nutzen, sondern es in die Aussackung lenken und diese so verschließen. Das Blut gerinnt um den Fremdkörper, sodass das Boot dort festsitzt.« Hier soll es dauerhaft verhindern, dass immer mehr Blut in die Aussackung fließt und gegen die Schwachstelle drückt. Dieses Boot darf sich deshalb nicht auflösen, sondern muss stabil bleiben. »Es gibt zahlreiche Anwendungsszenarien für unsere kleinen Schwimmer. Je nach Einsatzzweck lassen sich die Größe und Fertigungsmaterialien variieren«, erzählt Bakenecker begeistert. »Wir arbeiten also an einer ganzen Mini-Mikro-Nano-Roboter-Flotte. Die Bandbreite der neuen Technologie ist enorm.« ■

Biobasierte Kunststoffe

Neuartiges Folienmaterial aus dem Biokunststoff PLA

Flexible Einwegverpackungen wie Tragetaschen oder Müllsäcke gehören zu den Hauptverursachern von Kunststoffabfällen. Eine neuartige Klasse von Biokunststoffen auf Basis des Biopolyesters Polylactid (PLA) könnte in Zukunft Abhilfe schaffen.

Von Ulla Wolfshöfer

Einwegverpackungen vermüllen und zerstören Natur und Meere. Hier gilt es nachhaltige Lösungen zu finden. In diesem Kontext spielen Recycling und Defossilierung eine entscheidende Rolle. Idealerweise können Kunststoffe nach ihrer Nutzung in ihre Grundbausteine zerlegt und daraus neue Kunststoffe mit gleichen Eigenschaften hergestellt werden. Doch im Kreislauf von Herstellung, Nutzung und Wiederverwendung entstehen Materialverluste. »Für eine zunehmend zirkuläre Ökonomie müssen diese durch nichtfossile Rohstoffe ausgeglichen werden. Dies ist jedoch nicht ganz einfach, denn meist gibt es für fossile Kunststoffe keine biobasierten Analoga mit den gleichen Materialeigenschaften«, erklärt Dr. Antje Lieske, Leiterin der Abteilung Polymersynthese am Fraunhofer IAP in Potsdam.

Zusammen mit ihren Kollegen André Gomoll und Dr. Benjamín Rodríguez hat sie sich das Ziel gesetzt, einen biobasierten Kunststoff zu entwickeln, der mit dem heutzutage am häufigsten verwendeten Material für flexible Folienanwendungen, dem LDPE (engl.: low density polyethylene), konkurrieren kann. LDPE ist erdölbasiert, nicht bioabbaubar und kann nur unter Eigenschaftseinbußen mechanisch recycelt werden. Idealerweise sollte der neu entwickelte Kunststoff möglichst kostengünstig und mit den bestehenden LDPE-Verarbeitungsanlagen kompatibel sowie biologisch abbaubar sein.

Biobasiert und bioabbaubar

Daher fiel die Wahl auf den Biopolyester Polylactid (PLA) als Basispolymer, der mit vergleichsweise geringem Energieaufwand chemisch zu Neuware recycelt werden kann. Als Material ist PLA jedoch sehr steif und relativ spröde und daher für die Herstellung flexibler Einwegverpackungen wie Stretchfolien oder Tragetaschen nicht geeignet. Die Lösung: »Wir haben Weichmacher, sogenannte Polyether, direkt in die Polymerkette eingefügt, um das Material dauerhaft flexibler zu machen. Polyether sind nicht toxisch, kommerziell verfügbar und können auch

biobasiert hergestellt werden. Bislang wurden Weichmacher dem PLA als Additiv beigemischt. Jedoch wandern die Weichmacher-Moleküle mit der Zeit aus dem Material heraus, wodurch das PLA wieder steif und hart wird. Um diese Migration zu verhindern, haben wir den Polyether direkt im Polymer verankert. Dazu haben wir PLA-basierte Blockcopolymere synthetisiert, bei denen das Polyether-Kettensegment an beiden Enden kovalent mit PLA-Kettensegmenten verknüpft ist«, erläutert Dr. Benjamín Rodríguez.



Dr. Antje Lieske (l.), André Gomoll (M.) und Dr. Benjamín Rodríguez vom Fraunhofer IAP leisten einen wertvollen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit von Kunststoffverpackungsmaterialien.

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024

Forschungspreise

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



Das innovative PLA-Material ist zu mindestens 80 Prozent biobasiert.

Das Ergebnis ist ein neuartiges flexibles PLA-Material, das gänzlich ohne den Einsatz von migrierenden Weichmachern auskommt und im Gegensatz zu LDPE zu mindestens 80 Prozent biobasiert ist – »wobei potenziell auch eine nahezu 100-prozentige Biobasiertheit möglich ist«, erklärt André Gomoll. »Außerdem lässt sich unser Material kostengünstig aus kommerziellen Rohstoffen in einem einfachen Syntheseprozess herstellen. Dieser verlangt keine großvolumigen Syntheseanlagen, sondern kann lokal durch mittelständische Unternehmen als kontinuierlich betriebener Prozess implementiert werden. Schließlich ist das neuartige PLA-Material auch auf gängigen Verarbeitungsanlagen ähnlich wie LDPE zu Folien verarbeitbar und kann chemisch mit erheblich geringerem Energieaufwand als LDPE recycelt werden«, so Gomoll weiter.

Für die Entwicklung dieses flexiblen und recycelbaren PLA-Materials wurden André Gomoll, Dr. Benjamín Rodríguez und Dr. Antje Lieske mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024 ausgezeichnet.

Erfolgreiche kommerzielle Umsetzung

Das vom Fraunhofer IAP entwickelte nachhaltige Material ist das erste seiner Art, das LDPE in flexiblen Folienanwendungen hinsichtlich der Materialparameter vollständig ersetzen kann. Dies bewegte die Firma Polymer-Gruppe zur Kommerzialisierung. 2023 wurde eine Produktionsanlage für die neuen PLA-Blockcopolymere von der SoBiCo GmbH, einer Tochtergesellschaft der Polymer-Gruppe, in Betrieb genommen. Sie produziert pro Jahr 2000 Tonnen der neuartigen Biokunststoffe mit dem Namen Plactid®. Langfristig sollen dort 10 000 Tonnen des neuartigen flexiblen PLA-Materials pro Jahr hergestellt werden.

Das Material wird in Zukunft einen wichtigen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit von Kunststoffverpackungsmaterialien leisten. Neben flexiblen Verpackungsfolien können künftig auch völlig neue Anwendungsfelder erschlossen werden, etwa im Automobilbereich, in der Textilindustrie und in der Additiven Fertigung. ■



Solarenergie

Hocheffiziente farbige Photovoltaikmodule für Gebäude

Photovoltaikmodule an Gebäuden wirken in ästhetischer Hinsicht oft wie Fremdkörper. Die Lösung ist ein solares Fassadenelement, das sich nahezu unsichtbar und ohne nennenswerten Wirkungsgradverlust in eine Gebäudehülle integrieren lässt.

Von Ulla Wolfshöfer

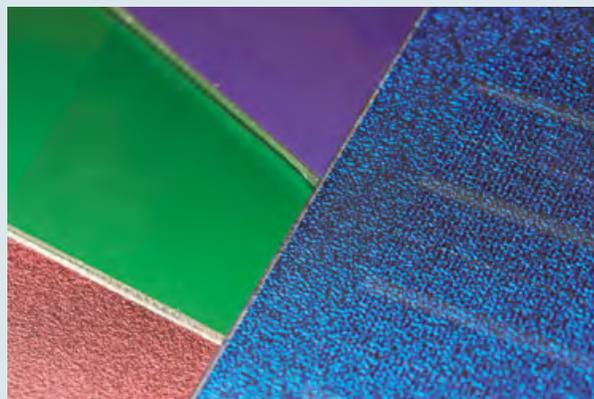
Bei Architekten und Bauherren sind Photovoltaik-Anlagen als gestalterisches Element wenig beliebt. Ein Forscherteam vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg hat deshalb ästhetische, hocheffiziente, farbige Photovoltaikmodule entwickelt, denen man ihren eigentlichen Zweck gar nicht mehr ansieht und die dennoch einen sehr hohen Wirkungsgrad haben. Mit der Entwicklung der MorphoColor®-Beschichtungstechnologie haben Dr. Oliver Höhn, Dr. Thomas Kroyer und Andreas Wessels einen wichtigen Beitrag für den Ausbau der integrierten Photovoltaik in Deutschland geschaffen, bei der nicht nur ein hoher Energieertrag, sondern auch Ästhetik und Akzeptanz eine wichtige Rolle spielen. Dafür wurden die drei Forscher mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024 ausgezeichnet.

Die besondere Herausforderung dabei war, dass sich Solarmodule für die gebäudeintegrierte Photovoltaik einerseits optisch wie ein klassisch eingefärbtes Element verhalten und andererseits die Stromerzeugung möglichst wenig beeinträchtigen sollen. Aus Sicht der Experten am Fraunhofer ISE ein Widerspruch in sich – bedeutet eine Farbgebung doch eine Reflexion von Licht und damit einen Verlust für die Stromerzeugung. Wie gelang es den Forschern, diesen Zielkonflikt zu lösen und farbige Photovoltaik zu realisieren, welche die gewünschte winkelstabile und gesättigte Farbgebung zeigt, aber ohne nennenswerten Wirkungsgradverlust?

Inspiration aus der Natur

»Die Inspiration kam vom blauen Morpho-Schmetterling, dessen 3D-photonische Strukturen auf seinem Flügel einen intensiven und winkelstabilen Farbeindruck durch einen grundsätzlich verlustarmen Interferenzeffekt erlauben«, erklärt Dr. Thomas Kroyer. »Der Morpho-Schmetterlingsflügel erzeugt einen Farbeindruck nicht durch

farbige Pigmente, sondern durch einen optischen Effekt. Er hat eine mikrometerfeine Oberflächenstruktur, die gezielt einen engen Wellenlängenbereich, sprich eine Farbe, reflektiert«, so Kroyer weiter. Nach diesem biologischen Vorbild ist es den Experten vom Fraunhofer ISE gelungen, eine ähnliche Oberflächenstruktur durch einen Vakuumprozess auf die Rückseite des Deckglases ihrer Photovoltaikmodule aufzubringen. Je nach Feinstruktur lassen sich so Deckgläser in verschiedenen Farben herstellen.



Die neuartigen Photovoltaikmodule lassen sich in verschiedenen Farben herstellen.

Inzwischen weist das Schichtsystem für farbige Photovoltaik wesentlich bessere Eigenschaften auf als das biologische Vorbild. Mit seiner hohen Lichtdurchlässigkeit und Farbsättigung übertrifft die MorphoColor®-Technologie auch alle anderen vergleichbaren Technologien auf dem Markt bei Weitem. »Unabhängige Messungen bestätigen, dass die farbigen PV-Module mit MorphoColor®-Beschichtung etwa 95 Prozent der Leistung eines vergleichbaren unbeschichteten Moduls erbringen«, erläutert Andreas Wessels.

Patentierte Technologie mit Zukunft

Die am Fraunhofer ISE entwickelte MorphoColor®-Technologie ist eine seit 2017 patentierte Plug-in-Lösung, die sich mit allen gängigen sowie den absehbaren zukünftigen Photovoltaik-Technologien einsetzen lässt und kostengünstig industriell herstellbar ist. Besonders gut eignen sich Zell- und Modultechnologien, die einen homogenen optischen Eindruck liefern, wie etwa rückseitenkontaktierte Solarzellen oder die ebenfalls am Fraunhofer ISE entwickelte Matrix-Schindeltechnologie. Um zu verhindern, dass die aneinander gelöteten Photovoltaik-Zellen von Kachel-Größe wie ein Schachbrett durch das farbige Deckglas schimmern, haben die Forscher am Fraunhofer ISE eine Montagemethode entwickelt, die an das Prinzip eines Mauerwerks erinnert. »Bei der Matrix-Schindeltechnologie entfallen durch die leitfähige Verklebung der Solarzellen die metallisch reflektierenden Zellverbinder und es ergibt sich ein homogenes Erscheinungsbild. Somit bleibt die Solarzellentechnologie hinter der Farbschicht vollständig unsichtbar. Dadurch wird eine ästhetische und vollständige optische Integration in Fassaden oder Dächer ermöglicht«, erklärt Dr. Oliver Höhn.

Die Marke MorphoColor® ist bereits in der EU sowie in der Schweiz, China, USA, Japan und Korea registriert.

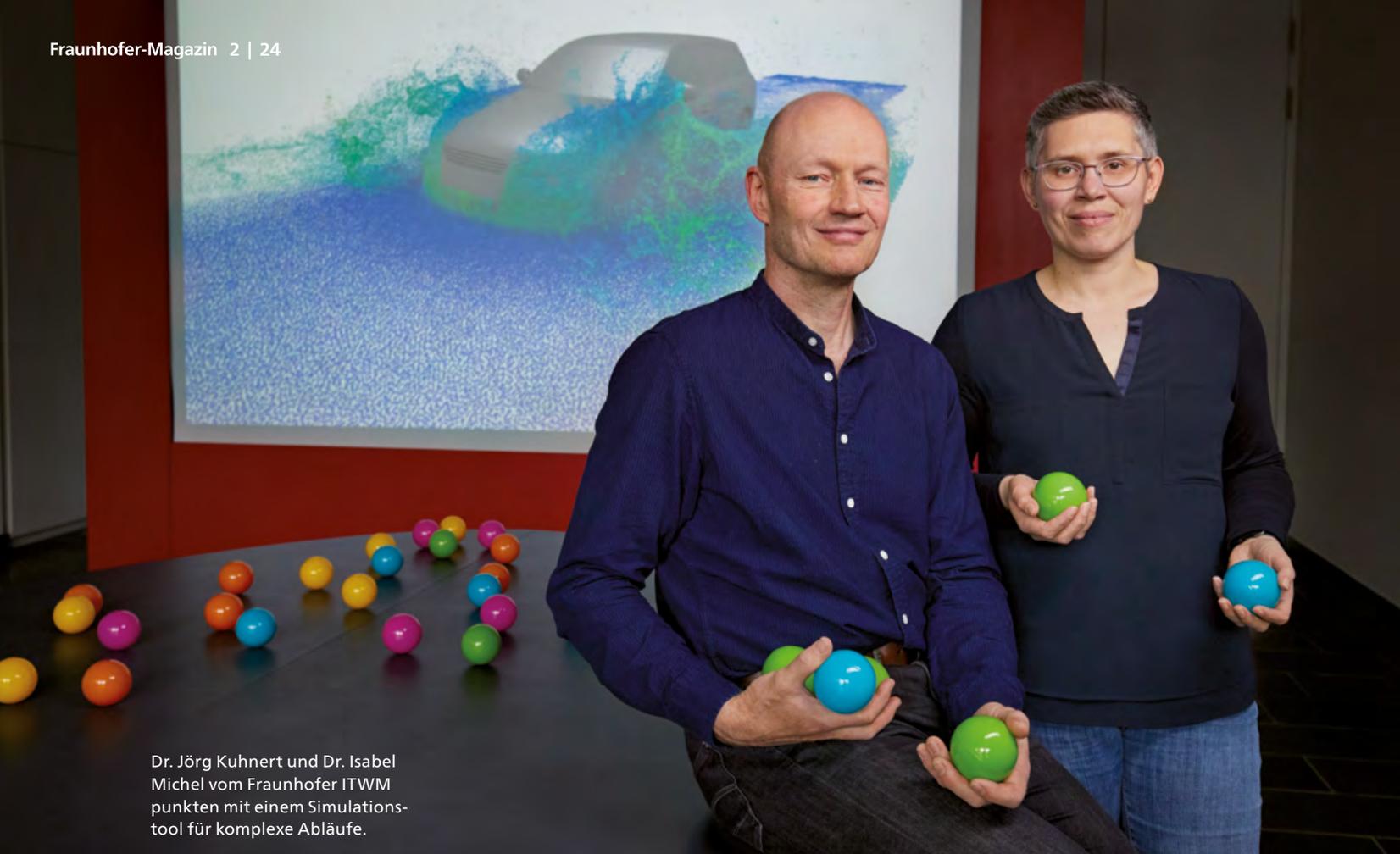
»Der Morpho-Schmetterlingsflügel erzeugt einen Farbeindruck nicht durch farbige Pigmente, sondern durch einen optischen Effekt.«

Dr. Thomas Kroyer, Fraunhofer ISE

Eine Lizenz wurde 2023 der Schweizer Firma Megasol Energie AG erteilt, ein europaweit führender Hersteller von Solarmodulen und In-Dach- und Fassaden-Montagesystemen, die die MorphoColor®-Technologie aktuell am Markt etabliert. Ein vielversprechendes weiteres Entwicklungsfeld ist die Integration von Photovoltaikmodulen in Fahrzeuge. Auf der Automobilmesse IAA zeigte das Fraunhofer ISE bereits Autoglasdächer und Motorhauben mit integrierten MorphoColor®-Photovoltaikmodulen – und stieß damit auf großes Interesse bei den deutschen Automobilherstellern. ■



Dr. Thomas Kroyer (l.), Dr. Oliver Höhn (M.) und Andreas Wessels wollen die Akzeptanz von Photovoltaikanlagen steigern.



Dr. Jörg Kuhnert und Dr. Isabel Michel vom Fraunhofer ITWM punkten mit einem Simulationstool für komplexe Abläufe.

Simulationenmethoden

Komplexe Prozesse zeitsparend abbilden

Ob im Automotive-Bereich oder in der Produktion – Simulationen und Digitale Zwillinge sind für viele Unternehmen unverzichtbar. Forschende am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM haben das Tool MESHFREE entwickelt. Es kann selbst komplexe Abläufe wie Aquaplaning mit großer Zeitersparnis simulieren. Dafür werden sie mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024 ausgezeichnet.

Von Lisa Scherbaum

Starre Vorgaben passen selten zu agilen Prozessen – was für Organisationen zutrifft, gilt auch für Simulationenmethoden. Sollen komplexe Vorgänge virtuell abgebildet werden, lassen sich vorab nicht alle Bewegungen der Komponenten vorhersehen und in einem passenden Rechengitter anlegen, wie es für Simulationen üblicherweise verwendet wird. Das Tool MESHFREE arbeitet punktebasiert ganz ohne Rechengitter und kann so direkt darstellen, wie sich Flüssigkeiten, luftgefüllte Behältnisse wie

Airbags oder andere freie Oberflächen in dynamischen Situationen zu jedem Zeitpunkt verhalten.

MESHFREE ersetzt den realen Versuch

»Unsere allererste Aufgabe im Projektteam bestand vor über 20 Jahren darin, die Entfaltung eines Airbags während des Fahrzeug-Crashes zu simulieren«, berichtet Dr. Jörg Kuhnert, der gemeinsam mit seiner Kollegin Dr. Isabel Michel am Fraunhofer ITWM forscht. »Bis auf real

durchgeführte, kostenintensive Crashtests gab es damals keine Möglichkeit, die Sicherheit von Neuentwicklungen in diesem Bereich schnell zu überprüfen.« Denn: Je mehr Objekte sich in einer Situation bewegen und miteinander agieren – bei einem Auffahrunfall etwa das Auto selbst, die Personen im Fahrzeug und der sich entfaltende Airbag –, desto schwieriger ist es, sie unter vertretbarem Aufwand mit klassischen Simulationsmethoden zuverlässig abzubilden.

Basierend auf der Dissertation von Jörg Kuhnert entwickelte das Team – seit dem Jahr 2012 auch unter Mitarbeit von Dr. Isabel Michel im Schwerpunkt Freistrahlturbinen – daher am Fraunhofer ITWM den innovativen gitterfreien Ansatz. Dieser ermöglicht es, besonders komplexe und dynamische Situationen teilweise erstmals überhaupt in der Simulation zu zeigen. Sämtliche seither erzielten Forschungsergebnisse flossen in das Software-Tool MESHFREE ein, das Alleinstellungsstatus besitzt: Im internationalen Vergleich macht kein anderes Simulationswerkzeug die Generalisierte Finite-Differenzen-Methode (GFDM) industriell nutzbar.

Flexible Methode für dynamische Prozesse

Klassischerweise kommt bei Simulationen die Finite-Elemente-Methode zum Einsatz: Ingenieurinnen und Ingenieure konstruieren dafür ein Gitternetz für die jeweilige Geometrie und berechnen darauf aufbauend die Veränderungen in jedem einzelnen Element. Bereits das Aufsetzen der Gitterstruktur ist sehr zeitaufwendig; auch während der Simulation muss sie immer wieder angepasst werden. Die Software MESHFREE kombiniert dagegen die Generalisierte Finite-Differenzen-Methode zur Lösung der Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie mit effizienten Algorithmen zur Lösung linearer Gleichungssysteme, die vom Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI mitentwickelt wurden. Ein gewaltiger Vorteil: Die verwendete numerische Punktelwolke ist in der Lage, sich flexibel an bewegliche Geometrien anzupassen. Aufwendige Nachkorrekturen im Rechengitter entfallen. Für ihre Entwicklung, die reale Versuche ersetzen kann, erhalten Dr. Jörg Kuhnert und Dr. Isabel Michel den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024.

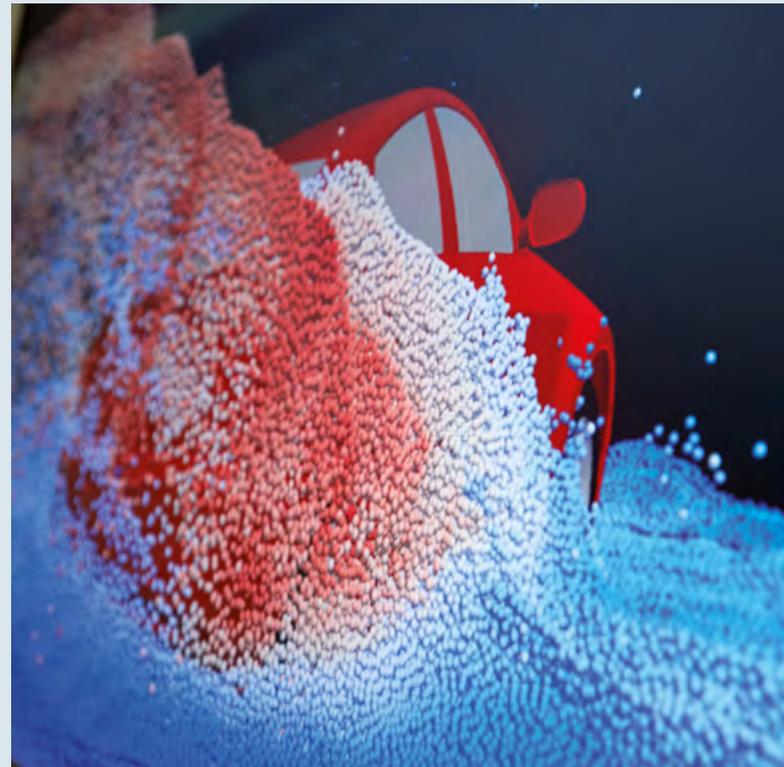
Die ausgezeichnete Methodik lässt sich für eine große Bandbreite von Anwendungen einsetzen. Ein Schwerpunkt liegt aktuell auf dem Automotive-Bereich: Neben der Airbag-Simulation konnten die Forschenden ihre zahlreichen Industriepartner bislang unter anderem mit Modellierungen von Wasserdurchfahrten oder zum Überrollen von Fahrzeugen auf Sand oder Kies unterstützen. In der Verfahrenstechnik half MESHFREE Unternehmen dabei, die Prozessparameter bei der Verarbeitung von Glasschmelze sowie der Verwendung von Kunststoffteilen zu optimieren oder die Effizienz von Wasserturbinen

zu steigern, indem es den Einfluss von Luft auf die Strömung oder die Abrasion der Schaufeln durch Sandpartikel simulierte. Ganz grundsätzlich lässt sich die Methode überall dort nutzen, wo Messungen oder Versuche ersetzt werden sollen oder nur schlecht bis gar nicht funktionieren. Isabel Michel fasst zusammen: »Wir sind nicht fixiert auf die klassischen Anwendungsfälle der numerischen Strömungsmechanik. MESHFREE kann viel mehr: Das Tool ist bewusst generisch gehalten.« ■

»Bis auf real durchgeführte, kostenintensive Crashtests gab es damals keine Möglichkeit, die Sicherheit von Neuentwicklungen in diesem Bereich schnell zu überprüfen.«

Dr. Jörg Kuhnert, Fraunhofer ITWM

Passt sich flexibel an Bewegung an: die in MESHFREE verwendete numerische Punktelwolke.



Intensivmedizin – Erregeridentifikation

Optimierte Diagnostik dank Next Generation Sequencing

Der Faktor Zeit ist entscheidend bei invasiven Infektionen wie einer Sepsis, im Volksmund auch Blutvergiftung genannt. Fraunhofer-Forschende haben mit ihren Partnern ein Nachweisprinzip für Erreger etabliert, das wesentlich dazu beitragen kann, Leben zu retten.

Von Franziska Sell

Alle sechs Minuten fordert die Sepsis in Deutschland ein Menschenleben, zeigt eine aktuelle Studie. In Zusammenarbeit mit führenden klinischen Netzwerken und dem Biotechnologieunternehmen Noscendo GmbH ist es Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB gelungen, ein diagnostisches Verfahren zur Erreger-Identifizierung bei Intensivpatienten zu etablieren, das eine schnelle und zielgerichtete Behandlung invasiver Infektionen ermöglicht. Für diese Leistung wurden Dr. Kai Sohn, Abteilungsleiter In-vitro-Diagnostik am Fraunhofer IGB, und seine Verbundpartner Prof. Thorsten Brenner vom Universitätsklinikum Essen sowie Dr. Silke Grumaz und Dr. Philip Stevens von der Noscendo GmbH mit dem Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2024 geehrt.

DNA am Tatort

Bislang werden Sepsis-Auslöser im Regelfall mittels kultureller Anzucht (z.B. in Form der klassischen Blutkultur) ermittelt. Wächst ein Erreger in der bebrüteten Kulturflasche, kann man ihn mithilfe massenspektrometrischer Verfahren bestimmen. Nachteil: Weniger als 30 Prozent der Untersuchungen liefern ein positives Ergebnis – und selbst wenn der ursächliche Erreger nachgewiesen werden kann, nimmt sein Wachstum in der angelegten Kultur oft mehr Zeit in Anspruch, als die Erkrankten haben. Notgedrungen behandeln die Intensivmediziner daher häufig allein auf Basis von Erfahrungswerten.

Die neu gedachte Methode der Fraunhofer-Fachleute orientiert sich am Vorbild erfolgreicher Verbrechensbekämpfung: Da sich die Erreger so selten auf frischer Tat



Enge Anbindung an die Klinik: Dr. Philip Stevens (l.) im Gespräch mit Prof. Thorsten Brenner.



Dr. Silke Grumaz und Dr. Kai Sohn bei der Arbeit im Labor.

Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2024

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

ertappen lassen, untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stattdessen ihre Spuren am Tatort – Fragmente ihrer Erbinformation im Blut. Die Forschenden isolieren die DNA-Bruchstücke vollautomatisiert und sequenzieren sie im Hochdurchsatz. Finden sich Fragmente nicht humanen Ursprungs, gleichen die Fachleute diese mit einer spezifisch entwickelten Datenbank ab, welche die Genome von Bakterien, Viren, Pilzen und anderen Erregern enthält.

In der klinischen Praxis bewährt

Zahlreiche klinische Studien belegen ein hoch zuverlässiges und präzises Verfahren, das dem medizinischen Fachpersonal valide Ergebnisse liefert. Bei bis zu 70 Prozent der Untersuchten kann der krankheitsauslösende Erreger bestimmt werden. »Allein in den letzten vier Jahren konnte über 6000 Patientinnen und Patienten durch unsere Diagnostik geholfen werden«, freut sich Bioinformatiker Dr. Philip Stevens, CEO und Mitbegründer der Noscendo GmbH. »Die Betroffenen können das Krankenhaus deutlich schneller verlassen und sind weniger Langzeitwirkungen ausgesetzt. Das entlastet auch Krankenhäuser und Krankenkassen.«

Ausgezeichnete Zusammenarbeit

Dieser Erfolg ist das Resultat von mehr als zehn Jahren Zusammenarbeit über Fachbereichsgrenzen hinweg: Das eigentliche Verfahren, das in einem dreistufigen Prozess die optimale Vorbereitung der Probe, die Hochdurchsatz-Sequenzierung (Next-Generation Sequencing, NGS) und die bioinformatische Auswertung mittels diagnostischer Algorithmen umfasst und initial am Fraunhofer IGB entwickelt wurde, ist ein Baustein.

Seine klinische Validierung erforderte die enge Zusammenarbeit mit führenden Krankenhäusern. Deren

Fachleute stellten nicht nur geeignete Proben und Patientendaten bereit. Unter der Leitung von Prof. Thorsten Brenner vom Universitätsklinikum Essen wurde der neue Ansatz mit dem bisherigen diagnostischen Standard verglichen und der diagnostische Nutzen durch Gremien bestehend aus unabhängigen Expertinnen und Experten evaluiert.

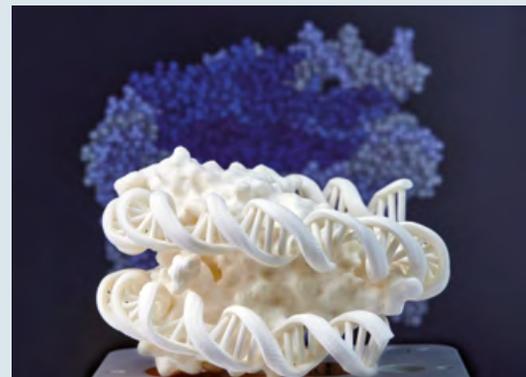
Dr. Silke Grumaz und Dr. Philip Stevens wiederum, die in ihrer Zeit am Fraunhofer IGB jeweils die ersten molekularbiologischen und bioinformatischen Grundlagen des Verfahrens mit entwickelten, schufen mit der Gründung der Noscendo GmbH für Kliniken die Möglichkeit, jederzeit Proben einsenden und in kürzester Zeit analysieren lassen zu können. Silke Grumaz, Chief Scientific Officer der Noscendo GmbH: »In der Regel liegt das Ergebnis innerhalb von 24 Stunden nach Eingang der Blutprobe bei uns im Labor vor. Wenn ein Klinikum das Verfahren nicht selbst anwendet, kann die Logistik weitere zwölf Stunden in Anspruch nehmen. Das ist in den meisten Fällen immer noch schneller als jede Blutkultur.«

Die Freude über den gemeinsamen Erfolg unterstreicht Dr. Kai Sohn, Abteilungsleiter In-vitro-Diagnostik am Fraunhofer IGB: »Nur durch den Verbund aus Fraunhofer, führenden klinischen Netzwerken und der Noscendo GmbH konnte unser Verfahren etabliert und erfolgreich an die Krankenhausbetten gebracht werden.«

Kein Schluss-, sondern ein Meilenstein

Für die Partner markiert der Wissenschaftspreis keinen Abschluss. »Aktuell wenden wir uns der Kinder-Intensivmedizin zu. Eine zuverlässige und schnelle Diagnostik ist hier umso bedeutsamer, da kleinen Patientinnen und Patienten nur geringe Mengen Blut entnommen werden können«, verdeutlicht Klinikleiter Brenner. Die Preisträger wollen ihr Verfahren zudem auf weitere Krankheitsbilder übertragen, wie etwa lokalisierte, schwer zu diagnostizierende Infektionen. Darüber hinaus arbeiten die Fachleute daran, die Methode über Blutproben hinaus auch in anderen Sekreten und an Gewebeproben anzuwenden. ■

DNA-Fragmente im Blut verraten die Erreger.



Verräterische Spuren

Sie sind extrem schnell, sie sind extrem gefährlich: In einem interdisziplinären Projekt arbeiten Fraunhofer-Forschende daran, Hyperschallwaffen besser zu erfassen und präziser zu verfolgen. Erste Erfolge gibt es bereits.

Von Mehmet Toprak

Im Windkanal wird das Gas, das die Objekte umströmt, auf Hyperschallgeschwindigkeit beschleunigt.

Wer beim Begriff HypS²tar 3b an ein besonders schwer zu knackendes Passwort denkt, liegt nicht ganz falsch. Tatsächlich steht er für eine schwer zu lösende Aufgabe: das Erkennen und Verfolgen von Hyperschallflugobjekten. Der Ukraine-Krieg hat vielen erst bewusst gemacht, wie gefährlich Hyperschallwaffen sind – und wie schwer es ist, sich gegen ihre Zerstörungskraft zu verteidigen.

Anders als Objekte, die mit Schallgeschwindigkeit (343 Meter in der Sekunde) oder langsamer unterwegs sind, bewegen sich die Objekte etwa bei Mach 5 mit Geschwindigkeiten von mehr als 1700 Meter in der Sekunde. Konventionelle Radarsysteme stehen hier vor großen Herausforderungen. »Bei diesen Geschwindigkeiten können die Radarechos entweder zu schwach, verwischt oder nur mit großem Abstand untereinander erscheinen. Das erschwert die Verfolgung der Objekte«, sagt René Petervari vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR.

Windkanalexperimente können helfen, die komplexe Physik besser zu verstehen und Lösungen zu erarbeiten. Bei der interdisziplinären Forschungsinitiative Hypersonic Signature Studies for Radar (HypS²tar) arbeitet Petervari gemeinsam mit Expertinnen und Experten des Deutsch-Französischen Forschungsinstituts ISL in Saint-Louis (Frankreich) und des DLR Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen und Braunschweig daran, das Entstehen der Radarechos an Hyperschallobjekten besser zu verstehen. Aufgabe der Fraunhofer-Forschenden ist es, die Radarsysteme weiterzuentwickeln und die Algorithmen zu optimieren. Hierbei helfen die im Windkanal entstandenen Radarsignaturen in Verbindung mit aufwendigen,

realitätsnahen Aerodynamik- und Radarsimulationen.

»Schon 2021 haben wir mit einer Kugel im Windkanal angefangen – und die Ergebnisse dann verfeinert.«

René Petervari,
Fraunhofer FHR



Doch wie baut man einen Windkanal, in dem die Objekte mit mehr als der fünffachen Schallgeschwindigkeit umströmt werden? Petervari erklärt das Prinzip: Die Forschenden nutzen sogenannte Stoßrohr-Windkanäle. Dabei wird ein Gas wie Wasserstoff oder Helium auf einen Druck von mehreren 100 Bar komprimiert. Der Druck bringt eine Metallmembran mit Sollbruchlinien zum Bersten. Das so erzeugte hochenergetische Gas wird dann über eine spezielle Lavalldüse – eine Entwicklung, die auch in der Raketentechnik eingesetzt wird – auf Hyperschallgeschwindigkeit beschleunigt.

»Wir hatten schon 2021 mit einer Kugel im Windkanal angefangen, sind dann zu einem Kegel übergegangen und haben die Ergebnisse schrittweise verfeinert«, erinnert sich der Fraunhofer-Experte. »Aktuell arbeiten wir mit dem 1,5 Meter großen gleiterförmigen Flugobjekt HypS²tar 3b. Durch seine Gleiterform und die metallisierte Oberfläche haben wir ein realitätsnahes Testobjekt«, sagt Petervari.

Als Radarsystem nutzt das Forschenden-Team ein sogenanntes Software Defined Radar, eine Technologie, in der das Fraunhofer FHR viel Expertise und Erfahrung besitzt. Die Systeme verzichten weitestgehend auf analoge Bauteile und ersetzen diese durch Softwaremodule.

Die Software-Algorithmen werden mit dem Fortschritt der Windkanalexperimente immer weiter angepasst. Sie ermöglichen es, die Radarechos besser zu fokussieren und Reichweiteneinbußen oder Fehlfunktionen bei der automatischen Verfolgung zu vermeiden. Angesichts begrenzter Rechenkapazitäten mussten sich herkömmliche Radarsysteme bisher mit Näherungen behelfen, die jedoch bei immer schnelleren Flugobjekten an ihre Grenzen kommen. Mithilfe eines besseren Verständnisses der Physik basierend auf den Experimenten, setzen die Fraunhofer-Forschenden nun auf leistungsfähige Elektronik, modernste Radarsysteme und fortschrittliche Software. Dadurch werden solche Näherungen überflüssig und die Flugbahn und Geschwindigkeit eines Objekts lassen sich exakter berechnen.

Die Forschenden am Fraunhofer FHR können bei ihrem Projekt auch auf die Ressourcen des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (Fraunhofer VVS) setzen, in dem zwölf Fraunhofer-Institute Technologien entwickeln, die zur Sicherheit von Mensch, Gesellschaft und Staat beitragen. Fraunhofer VVS-Geschäftsführerin Caroline Schweizer: »Unsere Expertinnen und Experten forschen seit Jahren interdisziplinär an der Erfassung und Abwehr von Hyperschall-Bedrohungen. Das ist in Zukunft von strategischer Bedeutung, um Hochwertziele innerhalb unserer kritischen Infrastrukturen zu schützen.« ■



2024

Wissenschaftsjahr Freiheit

Was bedeutet Freiheit in einer Hightech-Gesellschaft? Wie beeinflussen KI & Co unsere Freiheit? Wie vertrauenswürdig sind diese Technologien und die Entscheidungen, die sie treffen? Diesen Fragen geht Fraunhofer im Wissenschaftsjahr 2024 nach.

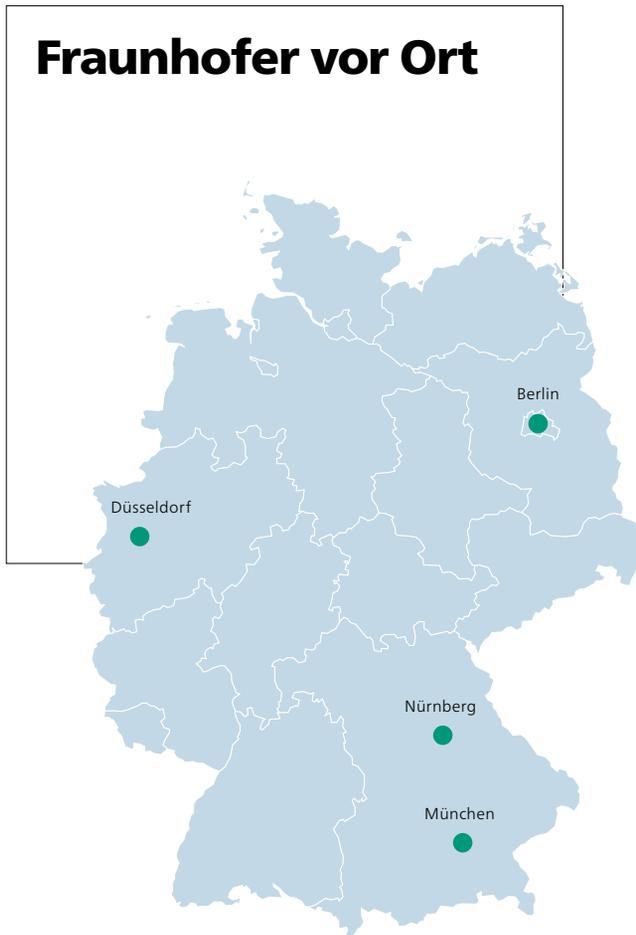
Fraunhofer-Termine

Bis 03.10. MS Wissenschaft
01.07. Nürnberger Digital Festival
21.08. Meet the Scientist auf der
MS Wissenschaft in Bonn
25.–26.09. Bitkom – AI & DATA Summit Berlin
01.11. Berlin Science Week

Weitere aktuelle Termine unter:



Fraunhofer vor Ort



Berlin
24.–27. September 2024
Innotrans
 Internationale Fachmesse
 für Verkehrstechnik

Berlin
15.–17. Oktober 2024
**Smart Country
 Convention (SCCON)**
 Zukunftslösungen für
 digitale Verwaltung,
 vernetzte Städte und
 mobile Räume verstehen
 und gestalten

Nürnberg
22.–24. Oktober 2024
It-sa
 Fachmesse und Kongress
 für IT-Sicherheit

Düsseldorf
11.–14. November 2024
Medica
 Internationale Leitmesse
 für Medizintechnik

Düsseldorf
11.–14. November 2024
Compamed
 Internationale Leitmesse
 für die medizintechnische
 Zulieferbranche

München
12.–15. November 2024
Electronica
 Weltleitmesse und
 Konferenz der Elektronik

75 Jahre Fraunhofer



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>





Nichts als Ärger mit dem Wasser

Freundliche Sommerfotos waren geplant. Es gab: Sauwedd in Stuttgart, usselig war's in Köln – und Windstärke 7 in Büsum. Fürs Nordsee-Foto hielten Dr. Henrike Seibel und Michael Schlachter von der Fraunhofer-Einrichtung IMTE tapfer durch, sogar als die Flut kam und sie die 100 Meter zum Ufer mit vollgelaufenen Gummistiefeln stapfen mussten. Die Fraunhofer-Forschenden haben Fotograf Enver Hirsch (r.) beeindruckt: »Die waren alle so unglaublich entspannt!«