


Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten



**Grün isst
die Zukunft**
Nahrung für alle –
aus dem Meer



Unsere Energie

Woher sie kommt
Wie wir sie sichern

Prof. Clemens Rohde,
Fraunhofer ISI

**Brustkrebs: Zellen-
Fahndung im Blut**
Neue Diagnose – schneller,
schonender, effizienter

**»Wir sind in der angewandten
Forschung gut aufgestellt!«**
Bundestagspräsidentin
Bärbel Bas im Interview





Fraunhofer
ZUKUNFTSSTIFTUNG

Mit Crowdfunding gemeinsam
Forschung fördern!

Jede Stimme zählt
bis 30.11.22

Der Crowdfunding-Wettbewerb 2022
»ScienceForGood« der Fraunhofer-Zukunftsstiftung

Mit ScienceForGood fragen wir die Zivilgesellschaft:
Welche Zukunftsthemen sind besonders wichtig?
Welches Forschungsprojekt überzeugt? Und welches
Team gewinnt den Crowdfunding-Wettbewerb 2022
der Fraunhofer-Zukunftsstiftung? **#ScienceForGood22**



Scan me!

www.startnext.de/pages/fraunhofer-zukunftsstiftung

Editorial

Innovation als Weg aus der Energiekrise

Energie ist aktuell das alles beherrschende Thema in Europa – und nachhaltige Energiequellen spielen nicht nur auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen Wirtschaft und Gesellschaft, sondern auch ganz konkret bei der Gewährleistung der Versorgungssicherheit unseres Landes eine entscheidende Rolle. Zur Sicherung unserer langfristigen Wettbewerbsfähigkeit und technologischen Souveränität gilt es, unsere heimische Energieproduktion zu erhöhen. Gelingen kann dies unter anderem durch den beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien wie Wind- und Solarenergie sowie den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft zur Dekarbonisierung der Industrie.

Die Fraunhofer-Gesellschaft treibt seit Jahrzehnten strategische Forschung in verschiedenen Bereichen der Klimainnovationen voran. Ein Beispiel für exzellente Energieforschung sind die höchsteffizienten Solarzellen, mit denen das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE bereits mehrfach Weltrekorde aufgestellt hat. Mithilfe einer neuen Antireflexbeschichtung ist es dem Fraunhofer ISE zuletzt im Mai gelungen, den Wirkungsgrad der bisher besten Solarzelle auf 47,6 Prozent zu erhöhen. Auch die Kosten für PV-Technologien konnten seit 2010 um über 90 Prozent gesenkt werden.

Aufgrund seiner vielseitigen Anwendungsgebiete in Industrie, Verkehr sowie der Strom- und Wärmeerzeugung gilt Wasserstoff mittelfristig ebenfalls als eines der Schlüsselemente für Klimaneutralität. Laut einer aktuellen Fraunhofer-Studie wird bis 2050 der globale Wasserstoffanteil am Endenergieverbrauch zwischen vier und elf Prozent betragen. Um sich flächendeckend durchsetzen zu können, muss dieser jedoch zu marktwirtschaftlichen Preisen, in ausreichenden Mengen und klimaneutral hergestellt werden. Mit dem Start des Nationalen Aktionsplans für Brennstoffzellenproduktion H2GO ist kürzlich ein erster Meilenstein erzielt worden. Das vom Bund mit 80 Millionen Euro geförderte Projekt bündelt die Aktivitäten von 19 Fraunhofer-Instituten für die Entwicklung einer hochskalierbaren industriellen Brennstoffzellen-Produktion, vorrangig für den straßengebundenen Schwerlastverkehr. In diesem Kontext garantiert H2GO die Hochskalierung der Brennstoffzellenproduktion und ebnet dadurch den Übergang zur »Wasserstoffrepublik« Deutschland.



Prof. Reimund Neugebauer

Langfristig kann auch die Kernfusion ein hohes Potenzial für eine CO₂-freie Energieversorgung entfalten. Bereits ein Gramm Deuterium-Tritium-Fusionsbrennstoff ermöglicht den gleichen Energiegewinn wie die Verbrennung von elf Tonnen Steinkohle. Die USA verfolgen hier bereits vielversprechende Ansätze, die Deutschland mit seinem Know-how und neuen Technologien erfolgreich unterstützen kann.

Nicht trotz, sondern gerade aufgrund der Krise gilt:

Deutschland muss im globalen Wettbewerb weiter auf Forschung und Innovation setzen. Denn nachhaltige Innovationen im Energiesektor sind der beste Weg, die Produktivität zu steigern und nachhaltige Wertschöpfung, Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

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



Inhalt



26
»Wir werden nachhaltiger und digitaler leben, wohnen, wirtschaften!«

Bundestagspräsidentin Bärbel Bas zeigt sich im Interview zuversichtlich – auch, weil Deutschland mit Fraunhofer in der angewandten Forschung gut aufgestellt sei.

10

Titel

Es werde ... Energie!

Die Bedrohung war noch nie so groß: Wie können die Stromversorgung gesichert und Störungen ausgeglichen werden? Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler setzen auf die Digitalisierung des Energiesystems und innovative Technologien.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

10 Es werde ... Energie!

Ohne Digitalisierung ist die Energiewende nicht zu schaffen

18 Wohin mit Solarmodulen und Windrädern?

Den Platz bestmöglich nutzen mithilfe von integrierter Photovoltaik und der Optimierung von Windparks

24 Vom Schnelllader zum Energieretter

Die ChargeBox verkürzt die Ladezeit für E-Autos auf wenige Minuten



38

Welternährung

Grün isst die Zukunft

Algen sind genügsam, haben es aber in sich. Sie könnten einen großen Beitrag dazu leisten, die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung sicherzustellen.

38 Grün isst die Zukunft

Ohne Algen kein Leben auf der Erde. Jedes zweite Sauerstoffmolekül, das wir einatmen, stammt von ihnen. Auch als Lebensmittel könnten Algen in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Fraunhofer-Forschende arbeiten an einer professionellen Kultivierung und der Extraktion der zahlreichen Proteine und anderen Nährstoffe

48 Wie werden wir alle satt?

Bevölkerungswachstum, Klimawandel und Desertifikation führen dazu, dass immer weniger Ackerfläche pro Kopf zur Verfügung steht. Ein Ausweg: Ernährungsgewohnheiten ändern und Algen eine Chance geben

52 Stimme aus der Wirtschaft

Smart Farming, Agri-PV und alternative Proteine zum Beispiel aus Algen könnten bald den großen Durchbruch erleben, meint Prof. Klaus Josef Lutz, Vorstandsvorsitzender der BayWa AG

26 »Wir werden nachhaltiger und digitaler leben, wohnen, wirtschaften!«

Mit neuen Technologien kann die Energiewende gelingen, ist Bundestagspräsidentin Bärbel Bas überzeugt

30 Durchblick in komplexen Netzen

Je vielschichtiger die Netzwerke, desto störanfälliger sind sie. Quantencomputer helfen, sie resilienter zu machen

32 Luftpost 2.0

Drohnen aus der Ferne sicher steuern

35 Staffellauf des Wissens, Folge 6

Wie sind die kritischen Infrastrukturen in Forschung und Wirtschaft in Deutschland in Bezug auf Cybersicherheit aufgestellt, Herr Prof. Waidner?

50 Netzwerk der Miniatur-Helfer

Eine neue Generation von Mikroimplantaten macht Menschen mit funktionalen Einschränkungen das Leben leichter

70 Tierisch gute Flugpatrouille

Geier sind bald mit einem Frühwarnsystem für ökologische Krisenherde unterwegs.



58 Emotion als Herzensprojekt

Neue technische Hilfsmittel geben Autisten mehr Gefühl fürs Gefühl.

54 Erste Reihe für alle

Kulturevents im virtuellen Raum

58 Emotion als Herzensprojekt

Autisten die Kommunikation im beruflichen Alltag erleichtern

60 Auf den Pilz bauen

Die Natur als Material-Lieferant

64 Ein Fall für den Quantencomputer?

Versorgungssicherheit trotz verflochtener Energiesysteme mit zahlreichen Einflussgrößen

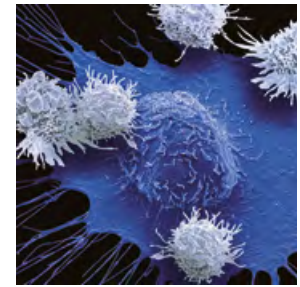
66 Carbonfaserrecycling trifft auf Papierschöpfen

Alte Carbonfasern mit einer Technologie aus der Papierherstellung wiederverwerten

68 Fraunhofer international

70 Tierisch gute Flugpatrouille zum Schutz der Savanne

Ein innovatives Tiersender-System zeigt frühzeitig an, wenn im Ökosystem etwas nicht stimmt



76 Brustkrebszellen im Blut aufspüren

Eine neue Form der Diagnostik macht Schluss mit der quälend langen Wartezeit – und ist zugleich wesentlich schonender.

74 Foto & Fraunhofer

Hightech-Sensoren sollen autonomes Fahren ermöglichen, brauchen aber viel Platz im Auto. Fraunhofer-Forschende haben eine smarte Lösung gefunden

76 Brustkrebszellen im Blut aufspüren

Schneller Gewissheit dank neuer Methode

78 Resiliente Netze und wehrhafte Systeme

Eine neu entwickelte Software hilft, das europäische Gasnetz zu schützen

79 Fraunhofer vor Ort

Seit Beginn des Krieges in der Ukraine wurden in der Europäischen Union 24 Prozent des Stroms aus Solar- und Windkraft produziert – so viel wie noch nie. Auf diese Weise sparten die Mitgliedstaaten rund 99 Milliarden Euro für teure Gasimporte, errechneten die Organisationen Ember und E3G in einer aktuellen Studie.

24%

Kurz gemeldet



Mehr als die Hälfte der Klärschlämme wird heute verbrannt. Fraunhofer-Forschende haben eine bessere Idee.

Wasserstoff aus Abfall gewinnen

Wie lässt sich klimaneutral, unabhängig von Sonne oder Wind reiner Wasserstoff herstellen, der für den Betrieb von Brennstoffzellen verwendet werden kann? Mit Bio-Müll, glauben Forschende der Fraunhofer-Institute für Schicht- und Oberflächentechnik IST und für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln einen zweiteiligen Prozess, um aus biogenen Ersatzbrennstoffen wie Klärschlamm hochreinen Wasserstoff zu gewinnen. Dabei soll in einem ersten Schritt aus den organischen Reststoffen mithilfe eines thermo-chemischen Konversionsprozesses ein wasserstoffreiches Synthesegas erzeugt werden. Anschließend ist geplant, hochreinen Wasserstoff mittels metallisch beschichteter Membranen abzutrennen.

Die dezentrale Herstellung von hochreinem Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein der nationalen Wasserstoffstrategie, die den Industriestandort Deutschland klimafreundlich umstrukturieren will. Durch das innovative Verfahren könnte die Menge an inländisch erzeugtem grünem Wasserstoff deutlich erhöht werden. Gleichzeitig werden Risiken bezüglich Abhängigkeiten und fehlender Versorgungssicherheit reduziert. ■

Wasserschäden: Keine Chance für Schimmel

Mit einer innovativen Technik lassen sich feuchte Wände jetzt rasch, energiesparend und leise trocknen. FastDry® arbeitet um 85 Prozent energieeffizienter als herkömmliche Bautrockner, zudem ist er wesentlich leiser: Da weder Gebläse noch Kompressor im Einsatz sind, können die Trocknungsmodule problemlos tagsüber im Büro oder in der Privatwohnung über Nacht laufen.

Entwickelt wurde FastDry® von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP. Das Trocknungsmodul besteht aus einer großen, rechteckigen Dämmplatte. Sie wird direkt an der Wand angebracht und erwärmt diese mithilfe eines integrierten Heizdrahts. Der entstehende Wasserdampf kann ungehindert durch das diffusionsoffene Material nach außen entweichen, die Wärmeenergie bleibt durch die Dämmung in der Wand. Dadurch wird nur wenig Strom benötigt, um die Temperatur zu halten, und der Raum nicht unnötig aufgeheizt. Die Arbeitstemperatur liegt

bei etwa 55 Grad Celsius – eine Erwärmung, die auch empfindliche Baumaterialien problemlos aushalten. Die Technik ist marktreif und bereit für die Serienproduktion. ■

Herkömmliche Bautrockner müssen mindestens vier Wochen laufen, häufig auch länger. Die Stromkosten sind enorm.



Alte Reifen wieder nutzen

Runderneuerte Reifen verursachen in der Herstellung mehr als 60 Prozent weniger CO₂-Emissionen als qualitativ vergleichbare Neureifen. Der Grund hierfür ist vor allem die Einsparung von Rohstoffen und Energie. Zu diesem Ergebnis kommt eine aktuelle Studie des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT im Auftrag der Allianz Zukunft Reifen (AZuR), gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

In Deutschland fallen jährlich etwa 570 000 Tonnen Altreifen an, die größtenteils verbrannt oder zu Gummigranulaten und Gummimehl verarbeitet werden. Die umweltfreundliche Alternative der Runderneuerung wird nur selten genutzt. »Das liegt daran, dass viele Menschen unsicher sind, wenn es um runderneuerte Reifen geht«, sagt AZuR-Netzwerkkoordinatorin Christina Guth. Dabei ist die Laufleistung runderneuerter Reifen laut Studie mit qualitativ vergleichbaren Neureifen identisch. Auch sonst hätten die recycelten Reifen viele Vorteile. Guth: »Wenn sich



Genauso gut wie neue und dabei wesentlich umweltfreundlicher: recycelte Reifen.

die Quote erhöht, könnte man große Mengen Rohöl, Gummi und Stahl einsparen.« Außerdem sind wiederaufbereitete Reifen günstiger als Neuware. Um Nutzerinnen und Nutzer zu überzeugen, müssten diese über die ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile recycelter Reifen besser informiert werden. ■

Mobiler Lebensmittel-Check



Wer keinen Hund hat, der Reifegrad und Qualität erschnüffeln kann, für den haben Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher die Lösung.

Ist das Fruchtfleisch der Avocado unter der dicken Schale bereits verfault? Das lässt sich zukünftig schnell feststellen mithilfe eines kleinen, mobilen Scannersystems, das am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS entwickelt wird. Das System kann Lebensmittel berührungslos auf Qualität, Reife und Frische überprüfen. Die Analysegeräte sind so klein, dass sie in Tablets oder perspektivisch sogar in Smartphones integriert werden können.

Die Verwendung von mikro-elektromechanischen Systemen (MEMS) ermöglicht hochkompakte Scanner. Die Qualität der Messungen ist trotz der geringen Größe gut. Die erfassten Daten werden vor Ort oder online chemometrisch ausgewertet und daraus spezifische Merkmale extrahiert. Hierdurch werden nicht nur Aussagen zur Reife und Frische von Lebensmitteln möglich, sondern auch die Überprüfung korrekter Mischverhältnisse in der Lebensmittelverarbeitung, schnelle Warenein- und -ausgangskontrollen oder die gezielte Selektion in Weiterverwertungsprozessen. Dank der rechtzeitigen Erfassung von nachlassender Frische in der gesamten Lieferkette können zudem Lebensmittelverluste minimiert werden. ■



Jährlich fallen in Deutschland etwa 3,3 Millionen Tonnen teerhaltiger Straßenaufbruch an.

Teer recyceln

Teer ist krebserregend und daher im deutschen Straßenbau seit 1984 verboten. Bis dahin wurden jedoch viele Millionen Tonnen verbaut. Im Projekt InnoTeer entwickeln Fraunhofer-Forschende ein mehrstufiges Verfahren, um aus teerhaltigem Straßenaufbruch die Schadstoffe zu entfernen und die verbleibende Mineralik in hoher Qualität zurückzugewinnen.

Ein Team des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB arbeitet daran, die unbelasteten Anteile des Straßenaufbruchs automatisiert und sicher von den teerhaltigen zu trennen. Nicht kontaminiertes Material kann sofort wiedereingesetzt werden. Die teerhaltigen Stücke werden nicht wie bisher CO₂-intensiv bei hohen Temperaturen von 850 bis 1000 Grad Celsius verbrannt, sondern bei niedrigeren Temperaturen unter Sauerstoffabschluss pyrolysiert. Der Teer wird dabei thermisch zersetzt und kritische Inhaltsstoffe unschädlich gemacht. Die Gesteinskörnung bleibt unbeschädigt. Übrig bleiben Sand, Kalkstein und Kohlenstoff, die am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP erneut in Asphalt und andere Bauprodukte eingearbeitet werden sollen. ■

Mit Molke nachhaltig kleben

Einen umweltfreundlichen Klebstoff aus Molke haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS und der TU Dresden entwickelt.

Molke, die in großen Mengen anfällt, wenn Milch zu Käse oder Quark gerinnt, wird teilweise als Getränk, häufig mit Fruchtzusatz, verkauft. Einzelne Molke-Bestandteile wie Laktose und Proteine können auch in der Pharmazie oder der Lebensmittelindustrie verwertet werden. Übrig blieb bisher aber die Melasse, für die es keine Verwendung gab – sie musste teuer entsorgt werden.

Den Forschenden gelang es jetzt, aus der Melasse mithilfe von Fermentation und speziellen Membranen Ethylacetat zu gewinnen. Das farblose Lösungsmittel ist unter anderem ein wichtiger Inhaltsstoff von Klebstoffen, Druckfarben oder Lacken. Bisher wird es aus Erdgas oder Erdölderivaten hergestellt. Die nachhaltige Alternative aus Melasse ist nicht nur problemlos mikrobiell abbaubar, sondern hat auch einen hohen Reinheitsgrad von 97,5 Prozent. So lässt sie sich ohne weitere Bearbeitungsschritte unmittelbar als Rohstoff nutzen. ■



Molke galt im 19. Jahrhundert als besonders gesund. In der Schweiz entstanden eigene Molke-Kurorte. Dann erkannte man: Die Bergluft war für den Genesungserfolg ausschlaggebend, nicht die Restflüssigkeit aus der Käseherstellung.

Impressum

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

Herausgeber:

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

Kostenloses Abonnement:

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

Redaktion:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Dr. Katja Engel, Meike Grewe, Robert
Grill, Sirka Henning, Tim Schröder,
Mehmet Toprak, Yvonne Weiß

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie
der Titelstrecke:**

Jonas Ratermann

Fotografie Artikel Ernährung:

André Kirsch

Druck:

Zeitfracht GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2022

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Sicher auf dem E-Scooter unterwegs

Die Unfallbilanz von E-Scootern ist ähnlich schlecht wie die von Mofas und Mopeds. Fraunhofer-Forschende haben mithilfe von Crashtest-Dummys und Computer-Simulationen untersucht, wie sich E-Scooter-Fahrerinnen und -Fahrer besser schützen können.

Im Jahr 2020 gab es in
Deutschland 2155
Kollisionen mit E-Scootern.



Die Teams aus den Fraunhofer-Instituten für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI und für Werkstoffmechanik IWM haben im Projekt HUMAD den Verlauf typischer Unfälle analysiert und das damit verbundene Verletzungsrisiko bestimmt. Zusätzlich haben sie überprüft, wie geeignet verschiedene Helme und Protektoren sind.

Das Ergebnis: Selbst bei einer scheinbar niedrigen Geschwindigkeit von nur 10 km/h entfesselt ein Aufprall im 90°-Winkel enorme Beschleunigungen von 170 g auf den menschlichen Körper. Handelsübliche Fahrradhelme und Protektoren mildern die Sturzfolgen, bieten aber keinen vollständigen Schutz beim Zusammenprall mit harten Objekten.

Dr. Jörg Lienhard, verantwortlich für Leichtbau-Engineering im Geschäftsfeld Bauteilsicherheit und Leichtbau am Fraunhofer IWM, erklärt: »Protektoren nutzen oftmals Kunststoffe mit einer Wabenstruk-

tur (Honeycomb). Unsere Tests im Labor zeigen, dass Materialien mit der sogenannten TPMS-Struktur (Triply Periodic Minimal Surface) deutlich besser vor kinetischen Einwirkungen schützen.« Die TPMS-Struktur ist extrem »luftig« und offen. Dadurch kann die kinetische Energie von Schlägen besonders gut über die Fläche verteilt werden. So schwächt sie den Druck auf einzelne Stellen ab. Das Konzept stammt aus der Bionik, ist also von der Natur abgeschaut. Chitin-Panzer von Insekten weisen beispielsweise eine solche Struktur auf.

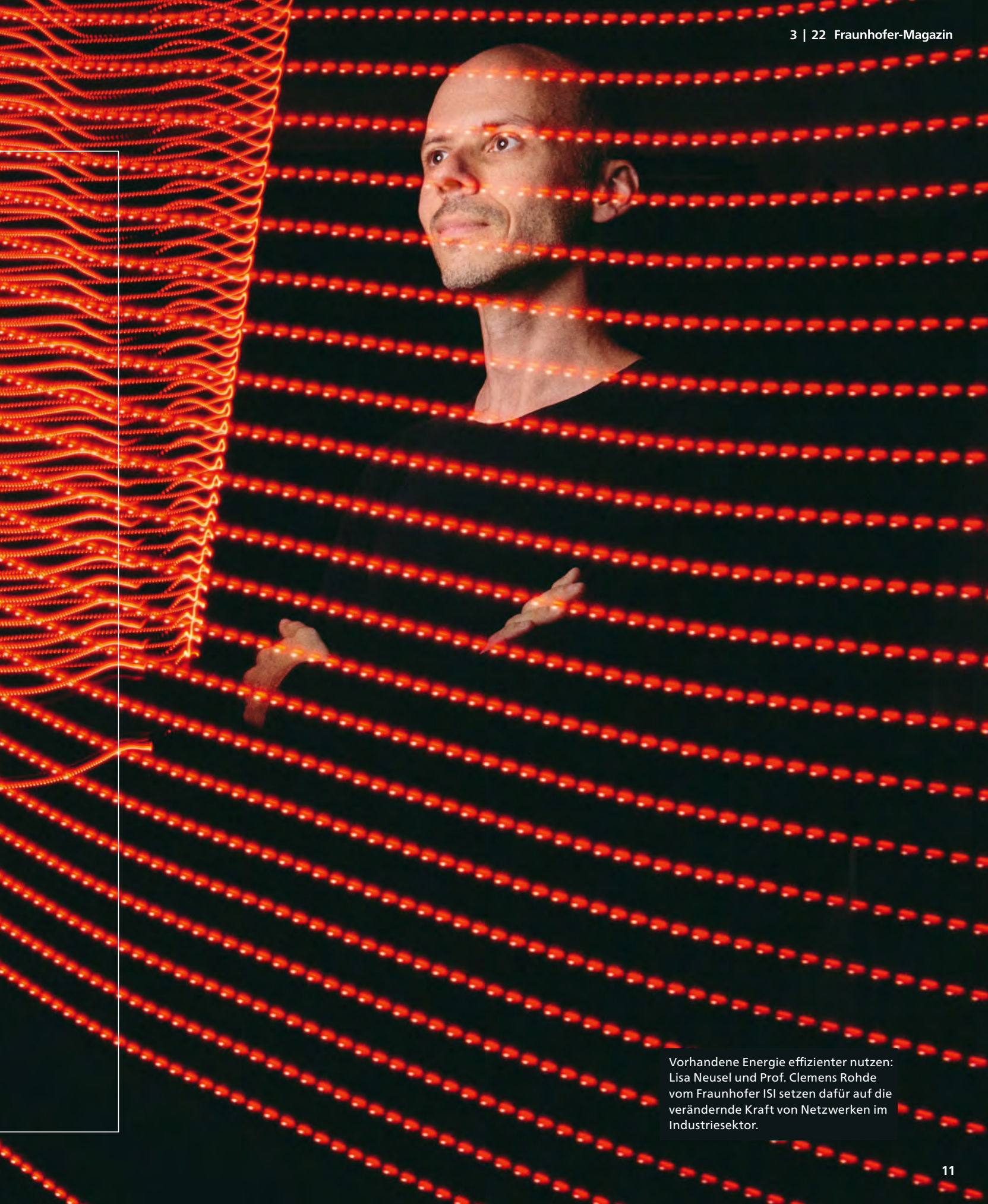
Gefertigt werden könnten TPMS-Helme und -Protektoren im 3D-Druck mit allen denkbaren Materialien. Die 3D-Druck-Verfahren sind sehr flexibel und ermöglichen es, sicherheitsrelevante Komponenten individuell für die jeweilige Anwendung und ihr typisches Gefahrenprofil herzustellen – mittels DLP-Verfahren (Direct Light Processing) auch in großen Stückzahlen. ■

Titel

Es werde ... Energie!

Strom ist kostbar. Kostbarer denn je. Die Energiewende, die so lange bestenfalls halbherzig vorangetrieben wurde, muss endlich Fahrt aufnehmen. Doch wie?

Von Dr. Janine van Ackeren; Fotograf: Jonas Ratermann, Fotoassistenz: Carsten Bredhauer



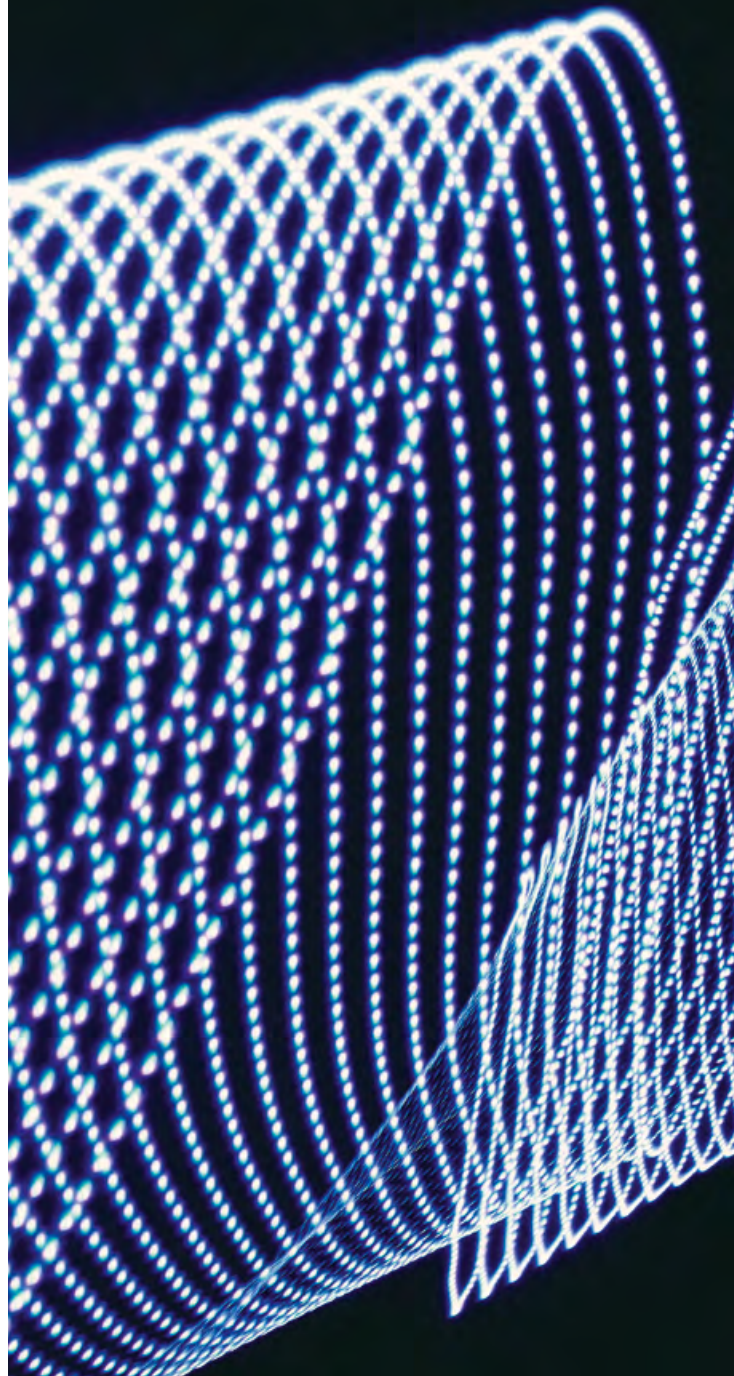
Vorhandene Energie effizienter nutzen:
Lisa Neusel und Prof. Clemens Rohde
vom Fraunhofer ISI setzen dafür auf die
verändernde Kraft von Netzwerken im
Industriesektor.

Es ist der 15. September, ein milder Spätsommertag mit 17 Grad in Berlin und 23 Grad in München, ein paar Tage noch vom kalendrischen Herbstanfang entfernt, als der Kälteschreck über Deutschland kommt. Der Deutsche Städte- und Gemeindebund warnt vor flächendeckenden Stromausfällen. »Die Gefahr eines Blackouts ist gegeben«, fürchtet Hauptgeschäftsführer Gerd Landsberg. Seine Sorge gilt den 650 000 Heizlüftern, die in diesem Jahr aus Angst vor einem kalten Winter mit extremen Heizungspreisen gekauft wurden. Schnell machen Notfall-Ratschläge die Runde: Campingkocher für die warme Mahlzeit, batteriebetriebene Radiogeräte, Kerzen und Taschenlampen. Der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine hat auch in Deutschland viel verändert – und Deutschland ist entschlossen, sich schnell noch mehr zu verändern.

Was lässt sich gegen Großstörungen in der Stromversorgung unternehmen? Forschende des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE haben das gemeinsam mit den Universitäten Braunschweig und Kassel, den vier Übertragungsnetzbetreibern in Deutschland, Verteilungsnetzbetreibern, Stromrichter-Herstellern, dem Forum für Netztechnik und Netzbetrieb im VDE und weiteren Partnern im Verbundprojekt »Netzregelung 2.0« untersucht. Das Team griff, neben anderen Untersuchungen, als Worst-Case-Szenario auf einen realen Vorgang vom 4. November 2006 zurück. Damals trennte sich das zentraleuropäische Verbundnetz als Folge einer Schalthandlung im Übertragungsnetz durch eine Kettenreaktion in drei Teile auf. Die Forschenden simulierten diese Störung nachträglich – und das unter erschwerten Bedingungen. Es wurde deutlich mehr Strom transportiert. Die Problematik, mit der sich das Team beschäftigte, erklärt Dr. Philipp Strauß, stellvertretender Leiter des Fraunhofer IEE: »In konventionellen Kraftwerken rotieren große Generatoren, die eine mechanische Trägheit haben. Tritt eine Störung auf oder schaltet sich ein Kraftwerk unerwartet ab, drehen sich diese Schwungmassen zunächst weiter, sie lassen sich nicht auf einen Schlag bremsen. Das wiederum spiegelt sich als elektrische Trägheit im Netz wider, die Störungen ausgleicht.« Erneuerbare Stromerzeuger sind heute größtenteils über Stromrichter mit dem Netz verbunden, welche keine Trägheit bereitstellen. Sie sollen die eingespeiste Energie an die vorgegebene Spannung und Frequenz des Netzes anpassen – bei einer Photovoltaik-Solaranlage beispielsweise wandelt der Stromrichter den erzeugten Gleichstrom in den netzüblichen Wechselstrom. Fraunhofer-Forschende arbeiten jetzt daran, die Stromrichter digital so zu regeln, dass sie sich künftig ähnlich verhalten wie rotierende Generatoren.

Dazu wird der Stromrichter so eingestellt, dass er im Falle einer Leistungsschwankung zunächst einmal ►

Kann die
Technologie
Deutschlands
Netze ausreichend
stabilisieren?



»Diese Frage ist eindeutig mit Ja zu beantworten:
Mit einer entsprechenden Regelung sind sogar reine
Stromrichtersysteme möglich – sie können selbst im
Worst Case den gewünschten Beitrag leisten.«

Dr. Philipp Strauß, Fraunhofer IEE



»Mit der Studie wollen wir einen Impuls für die politische Diskussion liefern, die Digitalisierung als einen wichtigen Teil der Energiewende zu betrachten.«

Dr. Marijke Welisch, Fraunhofer Exzellenz-Cluster
»Integrierte Energiesysteme CINES«



weitermacht wie bisher und hierdurch seine Momentanreserve aktiviert, die das Netz stabilisiert.

»Wir wollten herausfinden, wie diese Stromrichter im Verbundnetz zu regeln sind: Gibt es überhaupt eine Möglichkeit, große Netzstörungen damit aufzufangen?«, erläutert Strauß, der das gesamte Projekt am Fraunhofer IEE koordiniert. Kann die Technologie leisten, was die Forschenden sich erhofft haben, und Deutschlands Netze ausreichend stabilisieren? »Diese Frage ist eindeutig mit Ja zu beantworten: Mit einer entsprechenden Regelung sind sogar reine Stromrichtersysteme möglich – sie können selbst im Worst Case den gewünschten Beitrag leisten«, freut sich der Forscher. Auch kann die neue Regelung mit den bestehenden koexistieren – ein wichtiger Punkt, wenn erneuerbare Energien die fossilen Kraftwerke Schritt für Schritt ablösen. Auch haben die Forschenden die nötigen Regelverfahren zur Spannungsstabilisierung entworfen. Im Bereich der Höchstspannung sowie bei größeren Stromrichtern im Übertragungsnetz werden solche netzbildenden Stromrichter mit digitaler elektrischer Trägheit bereits gefordert. Was das Verteilnetz angeht – wo sie ebenfalls integriert werden sollen – besteht allerdings noch Forschungsbedarf. Knifflig ist hier unter anderem das Zusammenspiel mit der bestehenden Schutztechnik, schließlich sollen die neuen Stromrichter keine neuen Probleme hervorrufen.

Ohne Digitalisierung ist die Energiewende nicht zu schaffen

Nicht allein im Bereich der Netzstabilität macht Digitalisierung Hoffnung. Sie gilt vielen als der Schlüssel, um die Energiewende zu schaffen, mehr Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu bringen und die Klimakatastrophe zu mildern. »Zwar hat die Digitalisierung in den verschiedenen Netzebenen deutlich an Fahrt aufgenommen, insbesondere in den Höchst- und Hochspannungsnetzen«, berichtet Dr. Marijke Welisch, Geschäftsführerin des Fraunhofer Exzellenz-Clusters Integrierte Energiesysteme CINES. »Doch gerät das Thema über die Diskussion zu Preissteigerungen und Gaslieferproblemen ins Hintertreffen. Eine fatale Angelegenheit: Schließlich benötigt fast die gesamte Transformation des Energiesystems digitale Technologien – ohne eine umfassende Digitalisierung ist die Energiewende nicht rechtzeitig zu schaffen.« Einer der Gründe: Das Energiesystem wird

durch Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und Co. sehr kleinteilig. Doch lassen sich die Netze nicht beliebig ausbauen, auch sind die Millionen von Anlagen – im Gegensatz zu den bisherigen wenigen großen Kraftwerken – kaum zu steuern ohne digitale Intelligenz, die die Randbedingungen prüft und die Signale aufteilt. Ein weiterer Knackpunkt ist die Zeit, die die Energiewende braucht: Viele Abläufe funktionieren nur schnell und effizient, wenn sie digital umgesetzt werden. »Zahlreiche neue Anlagen und Netzkomponenten müssen genehmigt werden. Landen die Anträge dafür jedoch als Fax auf dem

Schreibtisch der Sachbearbeitenden, ist das weder zeitgemäß noch zielführend. Auch hier ist eine Digitalisierung dringend nötig«, erinnert Manuel Wickert, Leiter der Forschungsdimension Digitalisierung im Cluster.

In der Studie »Digitalisierung des Energiesystems – 14 Thesen zum Erfolg«, die Ende September 2022 veröffentlicht wurde, haben die Forschenden des Clusters daher Thesen erarbeitet und für jede These Botschaften an die Politik sowie konkrete Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft abgeleitet. »Am Anfang stand eine Szenarienanalyse: Wie könnte eine komplett digitalisierte Energiewelt in den nächsten fünf Jahren aussehen,

wie eine vollständig analoge? Und wie eine, die den Status quo beibehält? Auf Basis dieser Szenarien haben wir die Trends aus Energiewirtschaft und Digitalisierung zusammengeführt und Schnittmengen gesucht«, erläutert Welisch. Fünf Themenschwerpunkte identifizierten die Forschenden auf diese Weise: Datenökonomie, Sektorenkopplung, Anlagenkommunikation, Cybersecurity und Netzbetrieb/Netzplanung. Was die Datenökonomie angeht, ist es für Netzbetreiber essentiell, ausreichend Daten zum Stromhandel als auch zur Planung zugehöriger Systemdienstleistungen wie der Regelreserve zu haben. Denn: Unsicherheit fördert die Kosten für den Ausgleich. These eins lautet daher: »Der Wert von Energie ist zukünftig abhängig von den verknüpften Daten«. Was damit gemeint ist, lässt sich am besten an einem Beispiel verstehen: So war bei der Sonnenfinsternis am 20. März 2015 unklar, wie sich dieses Naturschauspiel auf die Produktion des Solarstroms auswirken würde – es wurde daher teurer Ausgleichsstrom bereitgestellt. Je mehr Daten aus der Meteorologie und der Photovoltaik vorliegen, desto besser und kostengünstiger lassen sich solche Ereignisse meistern. »Man sollte sich daher nicht allein auf Smart Meter als effiziente Datenquelle verlassen, sondern ►

»Der Wert von Energie ist zukünftig abhängig von den verknüpften Daten.«


Studie »Digitalisierung des Energiesystems – 14 Thesen zum Erfolg«, Fraunhofer Cluster CINES

auch Cloud-Systeme von Anlagenherstellern in Erwägung ziehen«, erläutern die Forschenden weiter. Bei der Cybersecurity befürworten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ebenfalls eine Neuerung. So gehe es nicht länger darum, ausnahmslos alle Energiesysteme schützen zu wollen; vielmehr gelte es, die Grundhaltung zu ändern: Statt auf umfassenden Schutz zu setzen, müssen die Systeme so designt werden, dass sie mit möglichen Störungen, Angriffen und Ausfällen besser umgehen können – und kritische Prozesse auch in schwierigen Situationen weiterlaufen. »Mit der Studie wollen wir einen Impuls für die politische Diskussion liefern, die Digitalisierung als einen wichtigen Teil der Energiewende zu betrachten«, fasst Welisch zusammen. Und auf diese Weise der Energiewende in Deutschland einen weiteren, benötigten An Schub geben.

Tatsächlich wird neues Denken immer dringender gefordert, um Deutschlands Energiemarkt resilienter gegenüber weltpolitischen Entwicklungen werden zu lassen – und natürlich auch, um den Klimawandel einzudämmen. Mancher sieht im Rückblick einen Patienten Deutschland, der am Tropf Gas-Pipeline hängt. Für die Anamnese schaffen die »Energy Charts« des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE den Überblick: Zugänglich über eine öffentliche Internetseite liefern sie, stündlich aktualisiert, wichtige Daten und interaktive Grafiken zu Stromproduktion, Börsenstrompreisen und Co. – und tragen damit dazu bei, die Diskussion um die Energiewende transparenter und sachlicher zu gestalten. »Dafür nutzen wir die Daten von zehn Providern, unter anderem der Energiebörse Leipzig EEX, wo alle Übertragungsnetzbetreiber ihre Daten melden, sowie dem europäischen Pendant Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E«, erläutert Prof. Bruno Burger, der die »Energy Charts« am Fraunhofer ISE geschaffen hat. So sind in der grafischen Darstellung des jährlichen Zu- und Rückbaus an installierter Netto-Leistung an Solarenergie in Deutschland deutlich der »Altmaier-Knick« und das »Gabriel-Tief« zu sehen, wie der Forscher sie nennt: Wurden im Jahr 2011 noch 7,91 Gigawatt Nettoleistung in Deutschland neu installiert, waren es 2013 nur noch 3,7 Gigawatt, 2014 nur noch 1,19 Gigawatt. Anzeigen lassen kann man sich neben der Preisentwicklung von Strom und Gas auch den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix, die Verläufe des Stromverbrauchs und des -angebots pro Woche oder Jahr sowie den typischen Tagesverlauf bei Stromerzeugung und -verbrauch.

Für den Strompreis berücksichtigen die Forschenden nicht nur die zurückliegenden und aktuellen Daten, sondern prognostizieren auch die Zukunft. Grund zur Hoffnung geben diese Prognosen wenig: Im Dezember 2022 wird der Strompreis voraussichtlich bei 51 Cent pro Kilowattstunde liegen, im ersten Quartal 2023 sogar bei 68 Cent. Selbst für das erste Quartal 2024 sind Strompreise von 43 Cent wahrscheinlich. Von Entspannung also ►



A man with grey hair, wearing a dark blue button-down shirt, stands against a black background. He is holding a glowing, multi-colored energy ball in his right hand. The ball is composed of numerous thin, overlapping lines of red, pink, and purple light, creating a vibrant, ethereal effect. The man has a slight smile and is looking down at the ball. The background is filled with faint, wispy trails of light in similar colors, suggesting a dynamic, energetic environment.

»Das Gas aus Russland war günstig. Um nun wieder richtig auf Kurs zu kommen, brauchen wir mindestens bis 2030.«

Prof. Bruno Burger, Fraunhofer ISE

keine Spur. »Wir haben die alten Bundesregierungen immer wieder darauf hingewiesen, dass ein Ausstieg aus Kernenergie und Kohle die erneuerbaren Energien als Ausgleich benötigt. Doch das Gas aus Russland war günstig. Um nun wieder richtig auf Kurs zu kommen, brauchen wir mindestens bis 2030 – die jetzige Bundesregierung kann das nicht in einer Legislaturperiode geradebiegen«, sagt der Forscher.

Smarte Beschichtungen halten je nach Saison die Wärme draußen oder lassen sie ins Haus

Eingesparte Energie muss nicht teuer bezahlt werden. Neue Technologien schaffen da ganz neue Möglichkeiten – smarte Fenster etwa, die die Wärmestrahlung der Sonne im Sommer draußen halten und somit die Notwendigkeit von Klimaanlage reduzieren, im Winter jedoch die Wärmestrahlung der Sonne durchlassen, sodass nicht so stark geheizt werden muss. Solche thermo- oder elektrochromen Beschichtungen können den Kühl- und Heizenergiebedarf eines Gebäudes um zehn, in Extremfällen sogar um bis zu 60 Prozent reduzieren. Die Basis dafür entwickeln Forschende des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP gemeinsam mit Partnern. »Im EU-Projekt Switch2Save konnten wir gemeinsam mit unseren Partnern der Westböhmischen Universität in Pilsen erstmals thermochrome Beschichtungen aus Vanadiumdioxid auf Dünnglas im Pilotmaßstab herstellen – über das Rolle-zu-Rolle-Verfahren«, freut sich Dr. Cindy Steiner, Gruppenleiterin am

Fraunhofer FEP. »Damit haben wir einen wichtigen Schritt in der Skalierung der Technologie geschafft!«

Was die thermochrome Beschichtung für Fenster ist, ist die programmierbare Wärmedämmung aus dem Fraunhofer Cluster of Excellence Programmierbare Materialien CPM für Fassaden: Die Außenhülle des Hauses reagiert auf die Außentemperatur. Denn diese Dämmung beruht auf einem Schaum, der temperaturabhängig seine Form ändert – so öffnet er bei hohen Temperaturen seine Poren und dehnt sich aus, während er nachts in komprimierter Form frische Luft durch Öffnungen der hinterlüfteten Fassade zirkulieren lässt. Über den Herstellungsprozess kann eingestellt werden, auf welche Weise der Schaum seine Form ändert und bei welcher Temperatur er das tut. Das Besondere daran: Der Vorgang ist reversibel, der Schaum kann seine Poren also immer wieder öffnen und schließen. »Vor allem bei der Kühlung macht das einen massiven Unterschied: Man könnte dabei bis zu 40 Prozent Energie sparen«, sagt Dr. Susanne Lehmann-Brauns, deren Gruppe im Fraunhofer CPM an solchen programmierbaren Materialien arbeitet.

Größere Auswirkungen als in Privathaushalten haben Sparmaßnahmen jedoch in Unternehmen: Während Haushalte nur 26 Prozent des Stroms in Deutschland verbrauchen, gehen 44 Prozent an die Industrie. Was die dortigen Möglichkeiten zum Stromsparen angeht, kann eine Entwicklung des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI weiterhelfen: Die Forschenden leisten seit 2009 die Vorarbeit, die jetzt dabei hilft, Lösungen schnell umzusetzen. »Wir haben bereits vor 13 Jahren 30

Platz da! Wohin mit Solarmodulen und Windrädern?

Deutschland hat sich in puncto Energiewende ehrgeizige Ziele gesetzt – Photovoltaik (PV) und Windkraft sind die entscheidenden Säulen. Die definierten Ausbauziele, was die Photovoltaik angeht, liegen bei einer Leistung von 400 Gigawatt Peak im Jahr 2040. Da stellen sich mehrere Fragen: Bekommen wir die dafür benötigte Menge an PV-Modulen unter, und wenn ja wo? Und das mit möglichst wenig Konflikten und hoher Akzeptanz? »Ja«, meint Dr. Harry Wirth, Bereichsleiter Photovoltaische Module und Kraftwerke am Fraunhofer-Institut für Solare Energie-

systeme ISE, »und zwar über integrierte Photovoltaik. Und nicht nur das: Die integrierte Photovoltaik bietet in zahlreichen Anwendungen interessante Synergien.« So etwa in der Landwirtschaft: Angebracht auf Ständern über dem Feld, beschatten die Solarmodule die Pflanzen ein Stück weit und schützen sie vor Starkwetterereignissen. Wie viel Licht hindurchkommt, wie sich die verschiedenen Pflanzenkulturen unter den Modulen entwickeln und wie sich die Photovoltaik auf die Erträge auswirkt, ermitteln die Forschenden via Simulationen. Auch schwimmende

PV-Kollektoren untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler: Die Module könnten Baggerseen und künstliche Seen vor Überhitzung und zu viel Verdunstung schützen, auch wird der Wellenschlag reduziert, was Vorteile für das Ufer bietet. Fassaden bieten ebenfalls viel Platz: Bisher werden sie jedoch nur sehr selten für die Erzeugung von Solarstrom genutzt. Mit der Beschichtung »MorphoColor®« aus dem Fraunhofer ISE sind die Solarmodule dabei gar nicht mehr als solche zu erkennen – stattdessen erstrahlen sie in brillanten Farben.

Pilotnetzwerke ins Leben gerufen. In diesen schließen sich in der Regel jeweils acht bis 15 Unternehmen sowie ein technischer Energieberater für zwei bis drei Jahre zusammen – mit dem Ziel, Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich Heizung/Kühlung, Beleuchtung, Druckluft, Optimierung von Prozessen oder betrieblichen Abläufen etc. umzusetzen und somit ein konkretes Einsparziel zu erreichen«, erläutert Lisa Neusel, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer ISI. Die Basis dafür bildet das im Rahmen der Pilotphase der »Lernenden EnergieEffizienz-Netzwerke« am Fraunhofer ISI entwickelte Netzwerkmanagement-Konzept: ein einheitlicher Standard, über den sich die Erfolge der Netzwerke in puncto Energieeinsparung wissenschaftlich vergleichen lassen. So erhebt das dafür entwickelte Tool beispielsweise, wie viel CO₂ durch die Maßnahmen eingespart wurde, in welcher Kategorie diese Maßnahmen einzuordnen sind und wie viel sie gekostet haben. Wichtig für den Erfolg ist vor allem der moderierte Austausch der Unternehmen. »Über den regelmäßigen Peer-to-Peer-Austausch lernen die Betriebe, wo sie Energie einsparen können«, fasst Neusel zusammen.

Das überzeugende Netzwerk-Konzept des Fraunhofer ISI griff der Bund auf – und rief im Jahr 2014 gemeinsam mit 22 Verbänden und Organisationen der Wirtschaft die »Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke« ins Leben. Mittlerweile gehören ihr 346 Netzwerke mit über 3000 Unternehmen an. Die Umsetzungen der Initiative werden dabei seit 2014 durch ein jährliches freiwilliges Monitoring durch das Fraunhofer ISI und das Forschungs- und Beratungsinstitut adelphi begleitet.

Wir haben uns lange gefragt, wie man das Thema Energieeffizienz in den Vorstandsebenen verankert. Das hat jetzt leider Putin für uns erledigt: Energie ist von einem klassischen Nebenthema irgendwo in der Ecke zu einem strategisch wichtigen Thema geworden.«

Prof. Clemens Rohde, Fraunhofer ISI

Aktueller denn je sind dabei für die Initiative auch Antworten auf die drängende Frage der schnellen Stromsparmaßnahmen: Kurzfristig realisierbare, praxisnahe und gering-investive Maßnahmen helfen den Unternehmen in einem Zeitraum von unter vier Wochen, ihren Energieverbrauch zu senken und Energiekostensteigerungen abzumildern. »Hier bietet sich vor allem eine Änderung des Verbrauchsverhaltens an – also Maßnahmen, die ohne großen Invest möglich sind«, erläutert Prof. Clemens Rohde, Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer ISI. Je nach Unternehmen sind um die fünf Prozent Einsparung – so Rohdes Hypothese – kurzfristig zu holen. »Mittelfristig«, sagt Rohde, »müssen sich die Unternehmen jedoch strategisch mit dem Thema auseinandersetzen. Wir haben uns lange gefragt, wie man das Thema Energieeffizienz in den Vorstandsebenen verankert. Das hat jetzt leider Putin für uns erledigt: Energie ist von einem ▶

Platzprobleme gibt es auch dort, wo man sie gar nicht vermuten würde: bei Offshore-Windanlagen im Meer. Schließlich gilt es auch Naturschutzgebiete, Schifffahrtsstraßen und Co. entsprechend zu berücksichtigen. »Es gibt kein anderes Land, das verhältnismäßig so große Ziele und so wenig Offshore-Windenergiefläche zur Verfügung hat wie Deutschland«, sagt Dr. Martin Dörenkämper, Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES. »Die derzeit verfügbaren Flächen könnten zwischen 50 und 60 Gigawatt Peak Leistung

bringen, gebraucht werden für die politischen Ausbauziele mindestens 70 GW.« Nun könnte man die Windanlagen einfach enger stellen, doch nehmen sie sich gegenseitig den Wind weg und die Windparks werden somit weniger effizient. Die große Frage: Wie weit kann man das treiben? Im Forschungsprojekt X-Wakes simulieren die Forschenden vom Fraunhofer IWES die Windströmungen unter verschiedenen Bedingungen. Dafür nutzen sie auch ein klassisches Wettermodell, das für die Darstellung der Windparks erweitert wurde.



Energieflexibilitäten smart managen: Can Kaymakci vom Fraunhofer IPA hat hierfür im Projekt SynErgie eine Plattform entwickelt.

klassischen Nebenthema irgendwo in der Ecke zu einem strategisch wichtigen Thema geworden.«

Strom zu sparen wird wichtig. Vielleicht noch wichtiger wird es werden, den erzeugten Strom möglichst gleichmäßig zu nutzen. Dies bringt gleich einen doppelten Vorteil: Es wirkt sich nicht nur positiv auf die Bilanz des Unternehmens aus, sondern auch auf die Netzstabilität. Schließlich ist das Netz keineswegs ein Freund von Schwankungen. Genau diese allerdings rufen Wind- und Sonnenenergie hervor. Ein Ausbau der Flexibilisierung in puncto Energiebedarf bietet – zumindest teilweise – eine Lösung.

Dafür braucht es Anreize. Einen bieten die Regelenergiemärkte: Groß-Energieverbraucher wie Aluminium- oder Papierhersteller können viel Geld sparen, wenn sie ihre Anlagen konform den netzbedingten Notwendigkeiten an- oder ausschalten – und das Stromnetz auf die-

»In der Marktplattform finden die Unternehmen verschiedene Vermarktungsmöglichkeiten für ihre Flexibilitäten.«

Can Kaymakci, Fraunhofer IPA

se Weise stabilisieren. Dafür müssen jedoch zum einen die Unternehmen wissen, welche Flexibilitätsmöglichkeiten in ihrem Betrieb bestehen, zweitens müssen Netzbetreiber und Unternehmen miteinander kommunizieren. Möglich macht es eine Energiesynchronisationsplattform, die Forschende des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA gemeinsam mit Partnern im Projekt SynErgie entwickelt haben. »Wir haben die Plattform einmal für produzierende Unternehmen konzipiert, einmal für die Vermittlung von Dienstleistungen der Marktseite«, fasst Can Kaymakci zusammen, Wissenschaftler am Fraunhofer IPA. Auf der Unternehmensseite zeigt die Plattform den Firmen verschiedene Energieflexibilitätsmaßnahmen auf: Sie integriert die Daten der Maschinen, identifiziert dynamisch Energieflexibilitäten in Produktionsprozessen und -infrastruktur und kommuniziert diese standardisiert. Zwar können diese Prozesse vollautomatisiert ablaufen, die Tendenz der Unternehmen geht jedoch dahin, die letzte Instanz beim Menschen zu belassen.

Es lassen sich Produktionsstarts verschieben, Maschinenbelegungspläne oder Arbeitszeiten anpassen. ►

Zusätzlich können technische Energieflexibilitätsmaßnahmen wie der Wechsel von Energieträgern oder die in-heränte Speicherung in Prozessen implementiert werden. Aber auch die Infrastruktur mit Themen wie Druckluft oder Raumklimatisierung lässt sich flexibel steuern. »Viel Potenzial besteht vor allem in der Kälte- und Wärmeerzeugung. So lässt sich ein Ofen abhängig vom Strompreis etwa mit Gas beziehungsweise Wasserstoff oder mit Strom betreiben, die Umstellung kann dabei während des Betriebs erfolgen«, sagt Kaymakci. Ein weiteres Beispiel: Herrscht ein Überangebot an Strom, kann ein Ofen vielleicht auch eine Weile mit der vollen Leistung auf eine höhere Temperatur geheizt werden und später bei höherem Strompreis von der hohen Temperatur zehren. Die entsprechenden Services, die solche Lastkurven optimieren, sind ebenfalls in der Plattform integriert. »Die zentrale Datenbasis sowie die Funktionalitäten der Services sind standardisiert – doch gibt es für jeden Prozess unterschiedliche Services, die zudem an die Unternehmen angepasst werden«, veranschaulicht Kaymakci.

In einem weiteren Schritt haben die Forschenden die Marktseite beleuchtet. »In der Marktplattform finden die Unternehmen verschiedene Vermarktungsmöglichkeiten für ihre Flexibilitäten«, sagt Kaymakci. Transaktionen laufen über die Plattform nicht ab, auch gibt es dort keine Daten- oder Energieflüsse – vielmehr gleicht sie einer Art Gelbe Seiten. Denn: Selbst große Unternehmen agieren nicht selber am Energiemarkt; dies übernehmen Vermarkter oder Aggregatoren, die die Energieflexibilitäten zahlreicher Firmen als »virtuelle Kraftwerke« zusammenschließen und auf den Energiemärkten anbieten. Über die Marktplattform können Unternehmen und Vermarkter auf einfache Art und Weise zusammenfinden.

Mit gezielten Anreizen das Energie-Einsparpotenzial in der Wirtschaft heben

Doch wie wirkungsvoll ist eine solche Lösung? »Allein mit den Industrien und Branchen in unserem Konsortium könnten wir die Last der Energienetze für 15 Minuten um 10,7 Gigawatt reduzieren oder um neun Gigawatt erhöhen. Insgesamt haben wir also ein Potenzial von 19,7 Gigawatt – und das entspricht immerhin 5620 Onshore-Windanlagen oder 540 der größten Photovoltaik-Anlagen in Deutschland. Unser System kann das Stromnetz somit sehr stark entlasten«, sagt Kaymakci. Die technischen

Voraussetzungen sind geschaffen – jetzt geht es darum, dieses Potenzial zu heben. Und zwar durch regulatorische Anreize. Auch hier sind die Forschenden des Fraunhofer IPA aktiv: Als Wirtschaftsminister Habeck den Energiemarkt wieder mehr ins Scheinwerferlicht holte, erstellten die Forschenden ein begleitendes Paper dazu, die Arbeiten im Bereich der Regulatorik tragen erste Früchte mit der dritten Novelle des Energiesicherungsgesetzes.

Die Grundidee der Flexibilität und der Vernetzung wirkt auch im Kleinen, um neue Sicherheit selbst in schwierigen Zeiten zu schaffen. Erhebliches Potenzial bieten beispielsweise Elektrofahrzeuge – schließlich können sie nicht nur für sich selbst Energie speichern, sondern auch zu Akkus werden, die Netzschwankungen ausgleichen. Interessant ist das nicht nur für die Netzbetreiber, sondern auch für Besitzerinnen und Besitzer von E-Autos. So verdienten sie in einem einjährigen Testlauf in Dänemark durchschnittlich 1300 Euro durch das antizyklische Einspeisen von Strom ins Energienetz. Noch sind den Be-

sitzern von E-Autos dabei allerdings vielfach die Hände gebunden, denn nötig dafür sind bidirektional ladbare E-Autos. Erste Modelle kommen gerade auf den Markt. »Damit die Elektrofahrzeuge Teil eines intelligenten Stromnetzes werden können, müssen die Netzbetreiber wissen, wie viele Autos wann in welchem Ausmaß be- oder entladen werden dürfen«,

»Wir haben ein Potenzial von 19,7 Gigawatt. Unser System kann das Stromnetz somit sehr stark entlasten.«

Can Kaymakci, Fraunhofer IPA

weiß Oliver Warweg, Gruppenleiter am Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer IOSB. »Wenn sie jedes Fahrzeug getrennt ansteuern müssen, ist das mit enormen Kosten verbunden.« Kosten, die den derzeitigen Wert noch nicht widerspiegeln. In mehreren Projekten arbeiten die Fraunhofer-Forschenden daher daran, die Kommunikation zu den Fahrzeugen zu bündeln und die Kosten zu senken.

So etwa im Projekt »Shared Area Charging«: Ein Parkplatz für Mehrgeschosswohnungen soll mit 40 Ladestationen ausgestattet und als virtueller Speicher betrachtet werden. Langfristig könnten mehrere solcher virtuellen Speicher zusammengefasst und aggregiert von den Energieversorgern angesprochen werden. Möglich machen soll es eine App, über die Fahrzeugbesitzer Angaben zum benötigten Ladezustand ihres Autos eingeben können. Die Forschenden des Fraunhofer IOSB-AST nutzen die Informationen aus der App für die Betriebsführung und entwickeln die nötigen Algorithmen für den Zusammenschluss zahlreicher Fahrzeuge. »Dazu gehören beispielsweise Vorhersagemodelle, mit denen sich planen lässt,

wann welche Fahrzeuge verfügbar sind und wie groß ihre Speicherkapazität ist. Zudem arbeiten wir daran, die entstehende Flexibilität in das Marktangebot zu integrieren, also die theoretisch berechnete Flexibilität aufzuteilen auf die einzelnen, tatsächlich verfügbaren Fahrzeuge.« Erste Demo-Quartiere sind in Suhl in Thüringen realisiert, ein größeres ist in Erfurt geplant, auch das Shared AC-Quartier ist im Aufbau. Dabei handelt es sich nicht um ein geschlossenes Labor, sondern um ein Projekt, das im Realleben durchgeführt wird – und das nun Schritt für Schritt der Vision entgegenwächst.

Energiesystem mit eigenem »Bewusstsein«?

Der Vision entgegen wächst auch der Anteil an Solarenergie: Um für den Winter gewappnet zu sein, installieren zahlreiche Menschen Photovoltaikanlagen auf den Dächern ihrer Häuser – der Markt ist geleert. Doch wird das Energiesystem mit jeder PV-Anlage und mit jedem als Stromspeicher eingebundenen Elektroauto dezentraler und komplexer. Und damit auch wesentlich schwieriger zu managen. »Erzeugung und Verbrauch sind nicht mehr so leicht zu matchen wie bisher«, bestätigt André Baier, Projektleiter am Fraunhofer IEE. »Vielmehr ist eine hochgradige Automatisierung samt Künstlicher Intelligenz nötig, um die künftigen komplexen Prozesse in

Echtzeit aufeinander abzustimmen.« Ähnlich sieht das der Bundesverband für Energie und Wasserwirtschaft BDEW: Er möchte die Energiewirtschaft zum Leitmarkt für Künstliche Intelligenz machen. Ein Leitsatz, den sich auch das Fraunhofer IEE auf die Fahnen geschrieben hat.

So bringt es seine Expertise unter anderem in die Forschungsinitiative IC4CES ein, neben weiteren Akteuren aus Forschung, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. Die Vision: Das Energiesystem soll ein eigenes Bewusstsein für den Zustand seiner Anlagen erhalten, sodass es diese künftig autonom regeln kann. »Mithilfe der Künstlichen Intelligenz wollen wir kognitive Energiesysteme ermöglichen, die wiederum dafür sorgen, dass die Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien möglich, sicher und erschwinglich ist«, sagt Baier. Drei Schwerpunkte nehmen sich die Forscher dabei vor. Zum einen die Kognitiven Energienetze – also Energienetze, die in der immer komplexer werdenden Lage die Sicherheit weiterhin gewähr-

leisten können und dabei idealerweise nicht mehr Kosten verursachen. Zum zweiten die kognitive Energiesystemtechnik und damit alles, was ans Netz angeschlossen wird, etwa Wechselrichter, die PV-Anlagen selbst sowie die Energieverbraucher. Und drittens die kognitive Energiewirtschaft: Wie lassen sich die fluktuierenden, dezentral erzeugten Energiemengen vermarkten? Wie müssen neue Geschäftsmodelle aussehen, etwa die Interaktion zwischen Verbraucher oder Erzeuger und Stadtwerken?

Was die Künstliche Intelligenz leisten kann, legen die Forschenden unter anderem am Beispiel des Energiehandels dar, genauer gesagt der Vermarktung von Windenergie. »Wir konnten zeigen: Künstliche Intelligenz schafft es, die erzeugte Energie automatisiert am Markt zu platzieren. Dabei erzielt sie ähnlich gute Ergebnisse wie ein menschlicher Verkäufer, zum Teil sogar bessere«, konstatiert Baier. Das Forscherteam nutzt dazu verschiedene Ansätze von Künstlicher Intelligenz: Beim überwachten Lernen basieren die Entscheidungen des Systems auf einem Satz von geregelten

Daten, mit denen es angelernt wird; sinnvoll ist das etwa beim Erstellen von Prognosen von Wind- und Solarenergie. Beim Reinforcement Learning dagegen bewegt sich das System in einer fest vorgegebenen Umgebung. Das können beispielsweise verschiedene Stromleitungen sein, die mit einer bestimmten Auslastung betrieben werden. Fällt eine Leitung aus, erkennt das System dies und versucht, die entsprechen-

»Wir wollen kognitive Energiesysteme, die dafür sorgen, dass die Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien möglich, sicher und erschwinglich ist.«

André Baier, Fraunhofer IEE

de Energiemenge sinnvoll auf andere Leitungen zu verteilen. Ist dies nicht möglich, müssen einzelne Anlagen ausgeschaltet oder heruntergeregelt werden – auch hier gibt es Ansätze, dies KI-basiert zu tun. Während die Künstliche Intelligenz für Prognosen bereits einsatzfähig ist, braucht es für die automatisierte Netzsteuerung noch Forschungsarbeit. Denn: Aktuell sind KI-Lösungen noch Black-Box-Modelle – die Forschenden wissen also nicht, wie die Künstliche Intelligenz zu ihren Entscheidungen kommt. Gemeinsam mit der Universität Kassel wollen sie dies in den nächsten Jahren ändern. Das Bewusstsein für Energie ist gewachsen. Jetzt entsteht auch ein Bewusstsein im Energiesystem. ■

Kann Künstliche Intelligenz unsere Energienetze vor Cyberattacken schützen? Hier geht's zum Podcast:



Deutscher Zukunftspreis 2022

Vom Schnelllader zum Energieretter

Elektroautos gelten als eine Säule der Energiewende. Doch lange Ladezeiten und kurze Reichweiten lassen viele Autofahrer zögern, auf Strom umzusteigen. Ein neues, minutenschnelles Ladesystem will das ändern – und bietet eine Lösung für noch ein ganz anderes Problem.

Von Mandy Bartel

Genau 687 200 Elektroautos waren im April 2022 in Deutschland zugelassen. Seit 2020 hat sich die Zahl jährlich verdoppelt. Gerade in Zeiten unsicherer Energieversorgung steigt mit der Anzahl an Elektrofahrzeugen jedoch auch die Gefahr, das lokale Stromnetz zu überlasten. Hier hat das mittelständische Unternehmen ADS-TEC Energy aus Nürtingen zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg eine Lösung gefunden, die gleichzeitig Millionen E-Autofahrer und -fahrerinnen freuen dürfte. Das von ihnen entwickelte Schnellladesystem ChargeBox verkürzt die Ladezeit auf nur wenige Minuten, ohne dabei die Energieinfrastruktur zu überlasten. Mehr noch: Es funktioniert sogar bei einem schwachen oder schwankenden Stromnetz zuverlässig.

Batteriespeicher statt Netzausbau

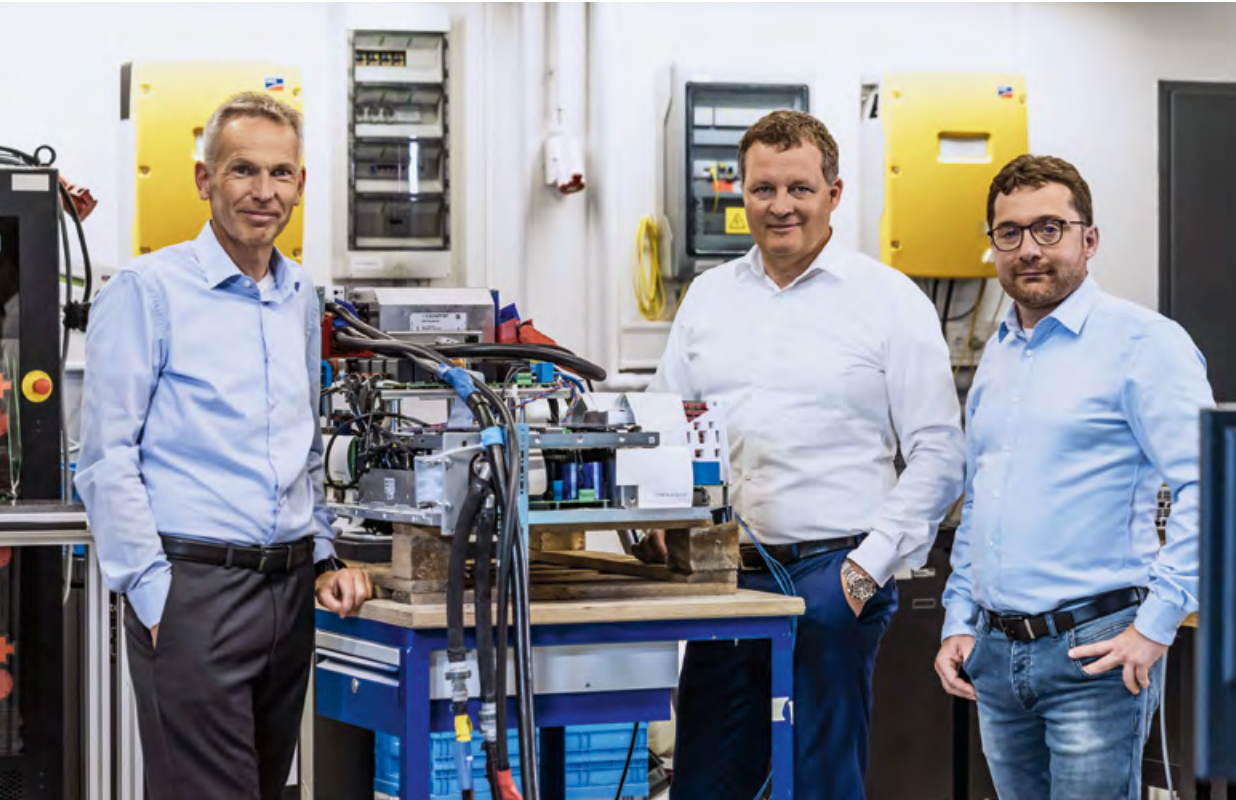
Laut Bundesnetzagentur gab es hierzulande Mitte 2022 rund 54 000 Normalladestationen, die Autos mit Wechselstrom in etwa zwei bis vier Stunden aufladen, und 10 000 mit Gleichstrom betriebene Schnellladepunkte, die Ladevorgänge auf 30 bis 60 Minuten verkürzen. Die ChargeBox basiert auf einem neuen, flexiblen Ansatz: Sie besteht aus einem kompakten und leistungsstarken elektronischen Stromwandler, einer daran angepassten Kühleinheit sowie einem Batteriespeicher – alles auf nur rund anderthalb Quadratmetern verpackt.

»Der integrierte Batteriespeicher puffert die Lastspitzen, die beim Schnellladen entstehen, indem er Energie zwischenspeichert«, erklärt Stefan Reichert, Projektleiter am Fraunhofer ISE, das Prinzip. »Das Stromnetz wird nur durch das langsamere Nachladen der internen Batterie belastet. Damit ist kein teurer Netzausbau nötig.« 140 Kilowattstunden (kWh) Energie kann die Batterie aufneh-

men. Zum Vergleich: Ein Zwei-Personen-Haushalt verbraucht monatlich etwa 166 kWh, ohne elektrische Warmwasserbereitung. Die Leistungselektronik bewirkt zudem nur geringe Verluste bei der Energieübertragung: Der Wirkungsgrad beim Aufladen des internen Batteriespeichers aus dem Netz liegt bei 95 Prozent, beim Stromfluss zwischen Speicher und Fahrzeugbatterie gar bei 98,5 Prozent.

An einer ChargeBox lassen sich zwei Elektroautos gleichzeitig aufladen. Bei diesem parallelen Betrieb ist eine vergleichsweise hohe Ladeleistung von je 160 Kilowatt möglich. Bei Einzelladung ist die doppelte Leistung abrufbar. Eine gängige Fahrzeugbatterie mit 100 kWh Kapazität lässt sich damit innerhalb von etwa 15 Minuten zu 80 Prozent laden. »Die genaue Zeitersparnis ist von mehreren Faktoren abhängig«, sagt ADS-TEC-CEO Thomas Speidel und verdeutlicht den Vorteil an einem Beispiel: »Bei einem Fahrzeug der oberen Leistungsklasse, etwa einem Tesla, ließen sich an einem normalen 50-kW-Anschluss mit der ChargeBox etwa 45 Minuten Ladezeit einsparen im Vergleich zu anderen Systemen bei gleichem Anschluss.«

Die Initialzündung zum smarten Schnelllader stammt von Porsche. Der Autohersteller fürchtete 2017 bei der Einführung des neuen Elektrofahrzeugs Taycan, dass die bestehende Ladeinfrastruktur nicht in der Lage wäre, die ebenso leistungsstarken wie energiehungrigen Wagen in vertretbarer Zeit zu laden. Mit der Idee einer batteriegestützten Lösung wandte sich Porsche an den Nürtinger Mittelständler ADS-TEC Energy, der daraufhin die ChargeBox entwickelte. Doch das System erforderte eine Leistungselektronik, die nicht nur viel weniger Platz braucht, sondern auch einen höheren Effizienzgrad besitzt als bisher verfügbare Lösungen. Für diese schwierige Aufgabe holte sich ADS-TEC Unterstützung aus dem Fraunhofer ISE. Dank langjähriger Forschungskompetenz in diesem Bereich entwickelten die Freiburger eine neue Leistungs-



Mit dem Deutschen Zukunftspreis ehrt der Bundespräsident seit 1997 Technik und Innovation, deren Anwendungsmöglichkeit gesichert ist und die den internationalen Stand der Forschung und Technik deutlich erweitern. Er wird jährlich vergeben und ist mit 250 000 Euro dotiert.

Kompakt und leistungsstark ist das Innenleben der ChargeBox. Stolz präsentieren Dr. Thorsten Ochs, Dipl.-Ing. Thomas Speidel und Dipl.-Ing. Stefan Reichert (v.li.n.re.) ihre gemeinsam entwickelte Technologie.

elektronik mit mehreren Wandlern, die stufenweise die Spannung anpassen und damit schnelles und sicheres Laden ermöglichen. Dabei setzten sie innovative Halbleiter aus Siliziumkarbid ein, an denen am Institut schon seit einigen Jahren geforscht wird.

Batteriespeicher, Integration und Industrialisierung nahm ADS-TEC in die Hand und überführte die ChargeBox 2020 in die Serienproduktion. In Sachsen entstand speziell dafür ein neuer Produktionsstandort mit mehreren Dutzend Arbeitsplätzen. Mehr als 1000 Systeme wurden in Europa und den USA bisher ausgeliefert, die Auftragsbücher sind gut gefüllt. »Allein das Wachstumspotenzial im Schnelllademarkt ist wegen der rasanten Zunahme an E-Autos riesig. Wir rechnen mit der Fertigung von etwa 5000 Schnellladestationen pro Jahr, weshalb wir die Kapazität unseres Werks in Dresden erneut ausgebaut haben«, meldet Thomas Speidel erfreut.

Baustein für resiliente Energieversorgung

Neben dem schnelleren Laden von E-Autos steht der ChargeBox noch eine weitaus größere Zukunft offen. Denn als Baustein eines künftigen Stromnetzes hat sie das

Potenzial, einen wesentlichen Beitrag für eine resilientere Energieversorgung zu leisten. Basierte die Stromerzeugung früher auf planbaren Kapazitäts- und Verbrauchsprognosen, wird es aufgrund der schwankenden Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien immer schwieriger, den volatilen Strombedarf zeitgenau abzudecken und auch Lastspitzen zu bedienen. Daher wächst die Bedeutung von lokalen Speicherlösungen als Flexibilitätspuffer. So könnten die ChargeBoxen auch in Industrie oder Privathaushalten Strom aus Photovoltaikanlagen oder Wärmepumpen zwischenspeichern und sie bei Bedarf abgeben. Intelligent vernetzt zu virtuellen Kraftwerken gäben sie damit eine hoffnungsvolle Antwort auf die derzeit viel diskutierte Energieversorgungsfrage. Mit ihrer zukunftsweisenden Innovation waren ADS-TEC Energy und Fraunhofer unter den drei nominierten Finalisten des Deutschen Zukunftspreises 2022. ■

Hier geht's zum Podcast:



Interview

»Wir werden nachhaltiger und digitaler leben, wohnen, wirtschaften!«

Sie mag Fußball, fährt Motorrad – und ist die ranghöchste Frau in Deutschland: Bärbel Bas hat in ihrer Kindheit Verzicht kennengelernt. Als Bundestagspräsidentin fordert sie: »Aufstieg sollte kein Ausnahmefall sein!«

Interview: Josef Oskar Seitz

Bärbel Bas, 54, Bundestagspräsidentin seit dem 26. Oktober 2021

_____ **Frau Bas, ein schwieriges Jahr geht zu Ende. Was gibt Ihnen Hoffnung für 2023?**

Der Zusammenhalt in Deutschland ist stark. Er ist viel stärker, als wir oft glauben. Unsere Zivilgesellschaft ist engagiert. Und unser Staat erweist sich als handlungsfähig. Auch wenn es darum geht, schwierige Entscheidungen zu treffen und mit alten Gewissheiten zu brechen. Wie in der Sicherheits- und Verteidigungs- oder in der Energiepolitik. Unsere Fachkräfte sind hervorragend ausgebildet und unsere Wirtschaft ist innovativ – auch weil wir in der angewandten Forschung so gut aufgestellt sind. Das sage ich ausdrücklich auch an die Adresse der Fraunhofer-Gesellschaft.

_____ **Wie kann Forschung helfen, die Herausforderungen zu meistern?**

Es ist klar, dass wir für die Energiewende neue Technologien brauchen. Auch zum Beispiel bei der Bewältigung des Klimawandels spielt die Forschung eine zentrale Rolle. Derzeit beschäftigt uns alle der Krieg in der Ukraine. Dabei kommt es vor allem auf entschlossene und verantwortungsvolle Politik an. Wenn man an die Abwehr von Cyberangriffen oder an die Sicherheit kritischer Infrastruktur denkt, spielt die Forschung eine wichtige Rolle. Ich war vor meiner Wahl zur Bundestagspräsidentin als stellvertretende Vorsitzende meiner SPD-Bundestagsfraktion zuständig für die Themen Gesundheit, Petitionen, Bildung und Forschung. Daher weiß ich natürlich, dass auch jenseits der aktuellen Krisen die Forschung von wachsender Bedeutung ist. Das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS in meinem Duisburger Wahlkreis leistet hervorragende Arbeit.

_____ **Was ist gefährlicher für unsere Gesellschaft: die Krisen – oder die Angst vor den Krisen?**

Angst ist bekanntlich ein schlechter Ratgeber. Sie lähmt uns und führt zu Fehlern. Zuversicht gibt uns die Kraft, Probleme zu lösen und Krisen zu überwinden. Das gilt besonders mit Blick auf die Ukraine. Putins Propaganda versucht gezielt, Ängste zu verbreiten und die Unterstützer der Ukraine zu spalten. Davon dürfen wir uns nicht einschüchtern lassen.

_____ **Zum Tag der Einheit haben Sie gesagt: »Unser Land hat die Fähigkeiten, große Transformationen zu gestalten.« Was sind die Fähigkeiten – und wohin wird sich unser Land in zehn Jahren verändert haben?**

In zehn Jahren werden wir nachhaltiger und digitaler leben, wohnen, wirtschaften und uns fortbewegen. Ich bin zuversichtlich, dass wir diese

Transformation gut bewältigen werden. In meiner Rede zum Tag der Deutschen Einheit standen mir die Umbrüche unserer jüngeren Vergangenheit vor Augen: einerseits der jahrzehntelange Strukturwandel in meiner Heimat, dem Ruhrgebiet, und andererseits der Umbruch, den die Ostdeutschen nach der Wiedervereinigung gemeistert haben. Beide Fälle zeigen: Unser Land kann viel schaffen – wenn wir zusammenhalten und auch die unterstützen, die von den Umbrüchen besonders hart getroffen werden. Wir haben so viele kluge Köpfe, so viel Kreativität, Flexibilität und Ideenreichtum in Deutschland!

_____ **Welches Zukunftsthema würden Sie gerne bei Fraunhofer platzieren?**

Die Bundestagspräsidentin sollte sich mit öffentlichen Empfehlungen im Ressort der Bildungsministerin zurückhalten. Aber da Sie gerade meine Rede zum Tag der Deutschen Einheit angesprochen haben: Aus meiner Beschäftigung mit Ostdeutschland weiß ich, dass die Fraunhofer-Gesellschaft bald in der Lausitz einen Standort eröffnen wird. Mit Blick auf den notwendigen Strukturwandel halte ich das für genau den richtigen Ansatz. Soweit ich das überblicken kann, soll dort unter anderem zu Energiethemen geforscht werden. Auch an den anderen Fraunhofer-Instituten wird dazu natürlich viel gearbeitet. Es ist offensichtlich, dass wir genau diese Art von Forschung jetzt dringend brauchen.

_____ **Ihr Vorgänger Wolfgang Schäuble hat in seiner letzten Rede als Bundestagspräsident gesagt: »Wissenschaftliche Erkenntnis allein ist noch keine Politik – und schon gar nicht demokratische Mehrheit.« Wird Wissenschaft in Zukunft mehr gefordert sein – und wie kann Ihnen die Forschung helfen, damit demokratische Mehrheiten schneller reagieren können?**

Ja, ich glaube, dass Forschung für unserer Gesellschaft wichtiger wird und ihre Bedeutung durch die Pandemie sichtbar geworden ist. Wolfgang Schäuble hat recht: Wissenschaft kann das Ringen um politische Mehrheiten nicht ersetzen. Es geht immer auch um Abwägungen, um Werte und um Interessen. Aufgabe von Parlament und Regierung ist es, auf Grundlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse politische Entscheidungen zu treffen und zu verantworten. Was das in der Praxis bedeutet, haben wir in der Pandemie sehr gut sehen können. Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Corona-Virus mussten im politischen Prozess abgewogen werden unter anderem mit Freiheitsrechten der Bürgerinnen und Bürger. Hier kommt die politische Verantwortung ins Spiel. ►



Abseits der Politik

Mit ihrem Ehemann verfolgt Bärbel Bas ein Frauen-Champions-League-Spiel des MSV Duisburg. Siegfried Ambrosius verstarb im September 2020.



Heimatverbunden

Für einen klaren Himmel über dem Ruhrgebiet macht sich Bas gerne stark – und steigt dafür auch in luftige Höhen.



Blumen für die ChefIn

Am 26. Oktober 2021 gratuliert MDB Rolf Mützenich mit einem Blumenstrauß der frisch gewählten Bundestagspräsidentin – Bundeskanzler Olaf Scholz (r.) applaudiert.



Lust auf Mobilität

Privat fährt die Bundestagspräsidentin eine Harley Davidson Low Rider S – und sie liebt es bis heute, die 106 PS des Benzinmotors unter sich zu spüren.

Im Frühjahr haben Sie die Ukraine besucht, zwölf Stunden im Nachtzug, teils mit Helm und Schutzweste – wie ist das für eine Frau der Nachkriegsgeneration, 1968 geboren?

Ich bin im Luxus des Friedens aufgewachsen. Wie sicherlich viele in meiner Generation habe ich Frieden für selbstverständlich gehalten. Krieg in Europa war für mich undenkbar. In Kiew, Butscha und Irpin habe ich dann gespürt, was Zeitenwende tatsächlich bedeutet. Der Krieg ist nach Europa zurückgekehrt.

Sie waren vor Ort in Butscha und Irpin, zwei Orte wahrscheinlicher Kriegsverbrechen durch russische Soldaten. Hat dieses Erleben des Sterbens Ihren Blick verändert?

Ja, dieser Besuch hat mich sehr bewegt. Die Bilder in Butscha und Irpin werde ich nie vergessen. Sie haben mir noch einmal vor Augen geführt, dass wir der Ukraine mit aller Entschlossenheit beistehen müssen.

Sie bezeichnen sich als Pazifistin. Können immer mehr Waffen Frieden bringen?

Der Krieg in der Ukraine hat bei mir eine eigene Zeitenwende im Kopf bewirkt. Wenn man es mit einem brutalen völkerrechtswidrigen Angriff und Menschenrechtsverletzungen zu tun hat, kann man auf Waffen zur Selbstverteidigung nicht verzichten. Putin ist zu keinerlei ernsthaften Verhandlungen bereit. Dieser bitteren Realität muss man sich stellen. Die jüngsten Raketenangriffe auf ukrainische Städte – auf Zivilisten und zivile Ziele! – zeigen, dass wir die Ukrainerinnen und Ukrainer unterstützen müssen, damit sie sich wehren und schützen können. Deswegen war es so wichtig, jetzt schnell ein modernes Flugabwehrsystem zu liefern.

Sie sind erst die dritte Bundestagspräsidentin unseres Landes, und das gegenüber elf Männern. Brauchen wir mehr Frauenquoten?

Noch immer sind es meist Männer, die über Posten entscheiden. Die Erfahrung zeigt leider: Nach Frauen suchen sie erst dann, wenn eine Quote sie dazu verpflichtet. Darum brauchen wir Quoten. Im Bundestag verharret der Frauenanteil seit vielen Jahren bei etwa einem Drittel. Das können wir nicht länger hinnehmen. Die bessere Repräsentation von Frauen ist ein Thema der Wahlrechtskommission, die der Bundestag eingesetzt hat. Als Bundestagspräsidentin kann ich der Arbeit der Kommission im Einzelnen nicht vorgreifen. Aber ich mache

kein Geheimnis daraus, was ich mir persönlich wünsche. Alle Parteien sollten endlich paritätisch besetzte Listen aufstellen. Ich hoffe sehr, dass es gelingt, verfassungskonforme Wege für diese Vorgabe zu finden. Parität brauchen wir übrigens nicht nur in der Politik, sondern auch in anderen Bereichen. Ich bin mir sicher: Auch die Forschung kann davon profitieren.

Sie haben, wie man so sagt, eine echte Aufstiegsbiographie hingelegt. Wo waren für Sie persönlich die Schwierigkeiten, welche Probleme hat man Ihnen auch in den Weg gelegt – und was braucht unser Bildungssystem, um einen Aufstieg einfacher zu machen?

Nachdem mein älterer Bruder auf dem Gymnasium gescheitert war, war ein Besuch auf dem Gymnasium oder gar Abitur für mich als Mädchen einfach nicht vorstellbar – nicht für meine Lehrerinnen und Lehrer, nicht für meine Eltern. Damit war für mich selbst der Weg in einen guten Ausbildungsberuf vorgezeichnet. Alternativen wurden mir damals nicht aufgezeigt oder ermöglicht. Das geht auch heute noch vielen Jugendlichen so, deren Eltern nicht selbst Abitur gemacht haben.

Seit meiner Ausbildung bin ich immer wieder auf Menschen getroffen, die an mich geglaubt, mich bestärkt und mir Chancen geboten haben. Dieses Glück haben andere nicht. Wir brauchen mehr gezielte Förderung, die gesellschaftliche Vorurteile und Hürden überwindet. Egal, ob es um die soziale Herkunft, die Migrationsgeschichte oder das Geschlecht geht. In den techniknahen Berufen gibt es noch immer zu wenige Frauen. Das schadet uns allen. Wir müssen raus aus dem Schubladendenken. Aufstieg sollte kein Ausnahmefall sein, sondern jeder und jedem offenstehen. Unser Bildungssystem kann sicher noch mehr leisten, bestehende Ungerechtigkeiten auszugleichen. Das muss sich ändern. Natürlich spielt auch Geld eine Rolle. Bildung muss kostenfrei und für jede und jeden gut zugänglich sein.

Sie melden sich gerade immer häufiger zu Wort, speziell mit Forderungen nach Schutz für die sozial Schwächeren im Land. Wie hilft Ihnen Ihre eigene Lebensgeschichte, um Sorgen besser zu verstehen?

In meiner Kindheit habe ich erlebt, was es heißt, auf vieles verzichten zu müssen. Diese Erfahrung ist für zu viele Menschen schon seit Langem Alltag. Nun fürchten sie, dass es selbst für das Nötigste nicht mehr reichen könnte. Solche



»Unsere Wirtschaft ist innovativ – auch weil wir in der angewandten Forschung so gut aufgestellt sind. Das sage ich ausdrücklich auch an die Adresse der Fraunhofer-Gesellschaft.«

Bärbel Bas

Einschnitte können ein ganzes Leben lang prägen. Nicht alle haben die Kraft und die Mittel, um von selbst wieder auf die Beine zu kommen. Wir müssen alles daransetzen, in Krisenzeiten niemanden allein zu lassen.

_____ **Wie verändert sich der Blick aufs Land, wenn man inzwischen zu »ihr da oben« gehört, nicht mehr zu »denen da unten«?**

Die eigene Herkunft prägt. Deswegen sehe ich mich selbst gar nicht als »eine da oben«. Trotzdem weiß ich natürlich, dass viele das so wahrnehmen. Und mir ist auch sehr bewusst, dass ich mittlerweile zu den Privilegierten in unserem Land gehöre. Wenn ich »ihr da oben« oder »ihr in Berlin« höre, macht mir das Sorgen. Diese Distanz ist nicht gut für unsere Demokratie. Darum unterstütze ich die Idee der Bürgerräte. Das ist ein neues Format der Beteiligung, bei dem geloste Bürgerinnen und Bürger aus allen Schichten und mit den unterschiedlichsten Hintergründen sich mit einem politischen Problem befassen und dem Bundestag Empfehlungen vorlegen. Ich glaube, dass dieses Format den gefühlten Abstand zwischen Politik und Menschen verringern kann. Mir selbst ist es außerdem wichtig, so viel Zeit wie möglich zu Hause mit den Duisburgerinnen und Duisburgern zu verbringen. Auf dem Fußballplatz, bei Straßenfesten, in Kleingärten, in der Eckkneipe oder bei Betriebsbesuchen. Dort suche ich das Gespräch mit den Menschen auf Augenhöhe ohne Barrieren. Diese Nähe zu den Bürgerinnen und Bürgern ist mir sehr wichtig.

_____ **Sie haben mit der Bundestrainerin Martina Voss-Tecklenburg beim KBC Duisburg gespielt. Wie war sie als Spielerin?**

Ich durfte zweimal mit ihr spielen. Das war mir eine große Ehre – zumal ich damals ehrlich gesagt nicht in Topform war. Ich hab an Martina Voss-Tecklenburg nur gute Erinnerungen. Ich denke gern an die Spiele zurück und freue mich jetzt von Herzen über ihre Erfolge und unsere Begegnungen.

_____ **Sie sind als Linksaußen aufgelaufen. Was haben Sie beim Fußball für die Politik gelernt?**

Ausdauer, Zielstrebigkeit und vor allem Teamgeist und Freude an der Sache. Gemeinsam gewinnen, gemeinsam verlieren. In der Politik muss man sich natürlich auch mal gegen andere durchsetzen, aber ohne Zusammenhalt geht es nicht auf dem Platz und nicht im Plenarsaal.

_____ **Sie fahren privat eine Harley Davidson Low Rider S. Was gibt Ihnen das Motorrad – und wann wird ein Elektromotor für Sie interessant?**

Ehrlich gesagt, ich möchte auf meiner Harley die PS auch spüren. Andererseits: Bei E-Autos wird mittlerweile ein klassischer Motor simuliert. Sie haben mich doch vorhin nach meinen Wünschen an die Fraunhofer-Gesellschaft gefragt: Wenn Sie da was entwickeln könnten, würde ich mich vielleicht auch vom E-Motorrad überzeugen lassen.

_____ **Was soll man am Ende der Amtszeit über die Bundestagspräsidentin Bas sagen? Fragen Sie mich in drei Jahren noch mal.**

_____ **Was sollen Ihre Freunde über die Bärbel sagen?**

Sie ist immer noch die Bärbel, die wir kennen. ■



Immer am Ball

Bei der Antrittsreise nach Polen besucht die Bundestagspräsidentin eine Sozialeinrichtung in Warschau für geflüchtete ukrainische Kinder – und zeigt ihr Talent als Linksaußen auf dem Fußballplatz.



Zugfahrt in den Krieg

»In den zwölf Stunden im Nachtzug ist die Angst mitgereist, das gebe ich gerne zu«, berichtete Bärbel Bas nach ihrer Reise in die Ukraine.



Grauen vor Augen

Priester Andrij Halawin zeigte der Besucherin aus Berlin Fotos von Greueln in Butscha.



60 Quadratmeter

misst das Büro der Bundestagspräsidentin – »damit ist es größer als meine Berliner Wohnung«, scherzt Bärbel Bas, »da lebe ich auf 42 Quadratmetern.«

Quantencomputing

Durchblick in komplexen Netzen

Ob Energie, Wasser oder Telekommunikation: Je komplexer die Netzwerke, desto störanfälliger sind sie. Die Folgen? Sind kaum noch abzuschätzen. Quantencomputer könnten helfen, die Stabilität kritischer Infrastrukturen zu bewerten.

Von Mandy Bartel



»Wir betrachten Netzwerk-szenarien, für die oft 10 000 und mehr Parameter relevant sind.«

Dr. Mirjam Fehling-Kaschek,
Physikerin am Fraunhofer-Institut
für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut EMI



Quantencomputer könnten in einigen Jahren die Welt verändern, möglicherweise zumindest. Ganz sicher verändert die Beschäftigung mit ihnen und ihren Einsatzmöglichkeiten das Arbeiten – und zwar schon heute. Das zumindest ist eine Erfahrung, die Dr. Mirjam Fehling-Kaschek und Dr. Corinna Köpke gemacht haben. »Das Projekt hat viele Menschen zusammengebracht, die vorher kaum Berührungspunkte hatten. Heute arbeiten wir nicht nur abteilungs-, sondern auch institutionsübergreifend enger zusammen, und alle profitieren von den unterschiedlichen Perspektiven und Kompetenzen«, berichtet Köpke.

Selbst wenn es noch dauern mag, bis Quantencomputer praktische Probleme lösen können – die gemeinsame Forschung daran ist schon zukunftsweisend. Seit 2020 wird bei Fraunhofer nach konkreten Fragestellungen gesucht, die sich mit Quantencomputern effizienter und schneller lösen lassen.

Konventionelle Rechner am Limit

Dr. Mirjam Fehling-Kaschek, Physikerin am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI, wusste sofort: »Das muss ich ausprobieren!« Mit ihrem Team bewertet sie die Resilienz kritischer Infrastrukturen. Dafür nutzt sie Simulationen. Doch haben Netzwerke für Strom, Telekommunikation oder Wasserversorgung heute einen Komplexitätsgrad erreicht, der den Rechenaufwand dafür immer weiter in die Höhe treibt.

»Wir betrachten Netzwerkszenarien, für die oft 10 000 und mehr Parameter relevant sind – von möglichen Kaskadeneffekten über Reparaturzeiten bis hin zur optimalen

Reihenfolge der Wiedereinschaltung«, sagt Fehling-Kaschek. »Das zu simulieren, kann mit normalen Computern mehrere Stunden Rechenleistung in Anspruch nehmen – Tendenz steigend.« Quantencomputer sieht Fehling-Kaschek als Chance, solche Simulationsaufgaben zu optimieren. Wie das funktionieren kann, erforscht sie zusammen mit mehreren Projektpartnern am IBM Quantum System One in Ehningen bei Stuttgart, einem Quantencomputer, der seit 2021 exklusiv von der Fraunhofer-Gesellschaft und ihren Partnern genutzt werden kann.

Ausprobieren, umdenken, weitermachen

Wie also nähert man sich der Arbeit mit einem Quantencomputer? Zunächst übersetzte das Team in Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg das zu simulierende Netzwerk gewissermaßen in »Quantisch«. Die Informationen sind in Quantencomputern in sogenannten Qubits gespeichert. Quantenschaltungen, genannt Circuits, zwischen diesen Qubits sorgen dafür, dass der Quantencomputer die Aufgabe versteht. Da in heutigen Systemen für solch umfassende Fragestellungen wie die des Fraunhofer EMI noch nicht genügend Qubits zur Verfügung stehen, reduzierten die Wissenschaftlerinnen das zu betrachtende Netzwerk zunächst auf wenige Parameter. Zudem behielten sie sich mit einem Kniff, indem sie das Problem in kleinere Teilbereiche aufteilten: die Informationsübertragung zwischen den einzelnen »Knoten«, also Parametern, auf der einen Seite und die Störung und ihre Effekte auf der anderen.

»Während sich der erste Teil schon gut auf dem Quantencomputer darstellen lässt, sehen wir, dass die Berechnung der störungsbedingten Parameter noch weiterer Forschung bedarf«, berichtet Dr. Corinna Köpke, die neben Mirjam Fehling-Kaschek das Projekt verantwortet. Nun heißt es: umdenken und weiter ausprobieren. Im nächsten Schritt wollen die Forscherinnen eine andere Herangehensweise testen und die Komplexität weiter reduzieren.

Doch Ausprobieren und flexibles Denken sind nur der Anfang, solange die noch begrenzte Hardware die Forschung bremst. Köpke verdeutlicht: »Um mit dem aktuellen Ansatz eine realistische Anzahl an Knoten zu simulieren, bräuchten wir perspektivisch das Vielfache an miteinander verschränkten Qubits. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg.« Fehling-Kaschek ergänzt: »Doch nur wenn wir es jetzt ausprobieren und diesen Weg beharrlich beschreiten, rückt die Anwendung näher.« Beide Forscherinnen sind sich aber in einem Punkt völlig einig: Schon heute haben sie durch die Möglichkeit, an einem Quantencomputer zu forschen, enorm viel gelernt. ■

Luftpost 2.0

Transport-Mission in Malawi: Ein neues Mobilfunk-Modul ermöglicht die Fernsteuerung von Drohnen selbst über lange Distanzen und über schwierigem Terrain. Aber auch für Deutschland kann die Technik interessant sein.

Von Tim Schröder

Hightech-Brieftaube:
Dank SUCOM-System
können Drohnen per
Mobilfunk aus der Ferne
sicher gesteuert werden.



Die Idee ist einfach, und sie ist überzeugend. Nur die Technik dafür, die hatte ihre Schwierigkeiten – bis jetzt.

In Malawi, einem der ärmsten Länder der Welt, sind während der Regenzeit viele Orte von jeder medizinischen Versorgung abgeschnitten. Medikamente, Blutkonserven und weiteres lebenswichtiges Material werden deshalb mithilfe von Drohnen aus der Luft geliefert. Die bis zu 40 Kilometer weiten Strecken führen über abgelegenes, hügeliges Gebiet. Während des Fluges sind die Drohnen per Mobilfunk mit Piloten in der Ferne verbunden. Doch herkömmliche Mobilfunk-Technik stößt dabei an ihre Grenzen. Immer wieder gibt es Verbindungsabbrüche, wie man sie in Deutschland aus der Bahn oder dem Auto kennt. Dann müssen die Drohnen auf teure Satellitenkommunikation umschalten. Fachleute des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI in Berlin haben deshalb zusammen mit dem hessischen Drohnenhersteller Wingcopter und zwei weiteren Firmen in dem Kooperationsprojekt SUCOM ein besonders zuverlässiges Mobilfunk-Modul entwickelt, das in den Drohnen verbaut wird.

Von vier Flugfeldern starten

in Malawi inzwischen die Drohnen. An jedem Flugfeld arbeitet ein sogenannter Fernpilot, der die aktuelle Route in den Computer eingibt und die Wegpunkte definiert, an denen sich die Drohne orientiert. Mit einem Klick wird die Mission auf die Drohne geladen. Die Daten fließen dafür vom Techniker zu einem Server in Kapstadt, dann weiter zum SUCOM-Modul und zum angeschlossenen Flight-Controller auf der Drohne. Ein weiterer Klick und die Drohne startet. Während des Fluges überwachen die Fernpiloten den Zustand der Drohne kontinuierlich und in Echtzeit. Sollte es einmal kritisch werden, weil Flugzeuge oder Hubschrauber den Weg kreuzen, können sie jederzeit über den Computer eingreifen. Für den Fall, dass die LTE-Verbindung einmal ausfällt, ist die Drohne zusätzlich mit Satelliten-Technik ausgestattet. Der Nachteil: Der Funkverkehr zwischen Drohne und Bodenstation via Satellit ist langsam

und teuer. Im Projekt SUCOM ist es dem Team um Tom Piechotta vom Fraunhofer HHI gelungen, die Kommunikation über LTE so stabil zu machen, dass es kaum mehr zu Unterbrechungen kommt.

Diesem Erfolg ging Ursachen-Forschung voraus.

»In der Fachwelt gibt es verschiedene Hypothesen zu der Frage, warum die Verbindung bei autonomen Drohnen, die über Mobilfunk kommunizieren, häufiger abbricht«, sagt Tom Piechotta, Verbundkoordinator des SUCOM-Projekts. Fehlende Netzabdeckung ist die eine Erklärung. Eine andere: In großer Höhe habe die Drohne Zugriff auf zu viele Mobilfunkmasten und wechsele immer

wieder zwischen den Funkzellen, was zum Abbruch führen könne. Gemeinsam mit seinem Team stellte Tom Piechotta hingegen fest, dass die Kommunikationsprotokolle, mit denen Drohnen üblicherweise arbeiten, Probleme machen. Sie sind nicht robust genug für schwankende Datenraten. Manche Datenpakete kommen dann langsamer an, einige gehen ganz verloren.

Für das SUCOM-Modul hat Tom Piechotta mit seinem Team neue Kommunikationsprotokolle entwickelt, die gegenüber ruckelnden Datenströmen unempfindlich sind. Die Verbin-

dung zur Drohne steht, selbst wenn die Datenrate schwankt. »Wir haben zum Vergleich eine Drohne mit einem kommerziell verfügbaren LTE-System und unserem SUCOM-Modul ausgestattet«, berichtet er. »Während die Verbindung über das herkömmliche Modul immer wieder abbrach, arbeitete das SUCOM-Modul stabil.« Für ihn ein klarer Hinweis darauf, dass Störungen bei Drohnen nicht allein auf fehlende Netzabdeckung zurückzuführen sind.

Zu SUCOM gehört noch mehr. Um schnellen Datentransport zwischen dem Server in Kapstadt und der Drohne zu erreichen, wurden auch die Server-Hardware und -Software angepasst. Die Verbindung ist so schnell, dass die Drohnen in Malawi sogar mit dem Fraunhofer HHI in Deutschland quasi in Echtzeit kommunizieren können. Ein Datenpaket braucht via Mobil- ▶

»Dass man im Auto oder Zug kein Netz hat, heißt noch lange nicht, dass das auch für die SUCOM-Drohne gilt.«

Tom Piechotta, Fraunhofer HHI

Fernpiloten überwachen den Zustand der Drohne während des Fluges **kontinuierlich und in Echtzeit.**

Guter Flug: SUCOM ermöglicht, dass die Bodenkontrollstation gleichzeitig via Mobilfunk mit der Drohne und der Luftlage-Bilddarstellung der Flugsicherung verbunden ist.



Ein Datenpaket braucht via Mobilfunk von der Drohne über den Server in Kapstadt bis nach Berlin nur **170 Millisekunden.**

funk von der Drohne über den Server in Kapstadt bis nach Berlin nur 170 Millisekunden. »Wir können sogar ruckelfreie Videobilder übertragen und gelegentlich nachschauen, wo die Drohnen gerade sind.«

Der Routine-Betrieb läuft über die Fernpiloten an den vier Flugfeldern vor Ort in Malawi. Ihre Aufgabe besteht vor allem darin, den Flug zu überwachen und den Befehl zum Start zu geben. Über eine VPN-Verbindung lässt sich die Drohne bei Bedarf auch vom Smartphone aus steuern. »Die Bevölkerung nimmt das Projekt begeistert auf«, sagt Carsten Ramke, Ingenieur bei Wingcopter, der die Tests vor Ort begleitet hat.

»Auch von den Krankenstationen kommt positives Feedback. Die Bestellmenge und die Anfragen nehmen kontinuierlich zu.« Mittlerweile sind in Malawi mehrere mit SUCOM ausgestattete Drohnen unterwegs.

»Die Bevölkerung nimmt das Projekt begeistert auf. Auch von den Krankenstationen kommt positives Feedback.«

Carsten Ramke,
Projektpartner Wingcopter

Das SUCOM-System soll künftig auch in Deutschland zum Einsatz kommen. Vom Frühjahr 2023 an will Wingcopter mit Unterstützung des Bundesverkehrsministeriums Lieferdrohnen einsetzen,

um abgelegene Orte besser zu versorgen. »Hierzulande gibt es aber noch eine gewisse Skepsis, was die Zuverlässigkeit mobilfunkbasierter Kommunikationssysteme für Drohnen angeht«, sagt Tom Piechotta. »Doch die Tatsache, dass man im Auto oder im Zug mit dem Handy kein Netz hat, heißt noch lange nicht, dass das auch für eine SUCOM-Drohne in dem Gebiet gelten muss.« Um zu zeigen, dass das Konzept funktioniert, hat das Projekt-Team kürzlich eines der größten Funklöcher Deutschlands mit einem Durchmesser von 14 Ki-

lometern überflogen. Dabei handelt es sich um ein ausgedehntes Waldgebiet im Norden Brandenburgs. Der Flug war ein Erfolg: Dank des SUCOM-Moduls blieb die Kommunikation mit der Drohne unterbrechungsfrei. ■

Staffellauf des Wissens

kritisch

***sicher
aufgestellt***

Guter Flug: SUCOM ermöglicht, dass die Bodenkontrollstation gleichzeitig via Mobilfunk mit der Drohne und der Luftlage-Bilddarstellung der Flugsicherung verbunden ist.



Ein Datenpaket braucht via Mobilfunk von der Drohne über den Server in Kapstadt bis nach Berlin nur **170 Millisekunden.**

funk von der Drohne über den Server in Kapstadt bis nach Berlin nur 170 Millisekunden. »Wir können sogar ruckelfreie Videobilder übertragen und gelegentlich nachschauen, wo die Drohnen gerade sind.«

Der Routine-Betrieb läuft über die Fernpiloten an den vier Flugfeldern vor Ort in Malawi. Ihre Aufgabe besteht vor allem darin, den Flug zu überwachen und den Befehl zum Start zu geben. Über eine VPN-Verbindung lässt sich die Drohne bei Bedarf auch vom Smartphone aus steuern. »Die Bevölkerung nimmt das Projekt begeistert auf«, sagt Carsten Ramke, Ingenieur bei Wingcopter, der die Tests vor Ort begleitet hat.

»Auch von den Krankenstationen kommt positives Feedback. Die Bestellmenge und die Anfragen nehmen kontinuierlich zu.« Mittlerweile sind in Malawi mehrere mit SUCOM ausgestattete Drohnen unterwegs.

»Die Bevölkerung nimmt das Projekt begeistert auf. Auch von den Krankenstationen kommt positives Feedback.«

Carsten Ramke,
Projektpartner Wingcopter

Das SUCOM-System soll künftig auch in Deutschland zum Einsatz kommen. Vom Frühjahr 2023 an will Wingcopter mit Unterstützung des Bundesverkehrsministeriums Lieferdrohnen einsetzen, um abgelegene Orte besser zu versorgen. »Hierzulande gibt es aber noch eine gewisse Skepsis, was die Zuverlässigkeit mobilfunkbasierter Kommunikationssysteme für Drohnen angeht«, sagt Tom Piechotta. »Doch die Tatsache, dass man im Auto oder im Zug mit dem Handy kein Netz hat, heißt noch lange nicht, dass das auch für eine SUCOM-Drohne in dem Gebiet gelten muss.« Um zu zeigen, dass das Konzept funktioniert, hat das Projekt-Team kürzlich eines der größten Funklöcher Deutschlands mit einem Durchmesser von 14 Ki-

lometern überflogen. Dabei handelt es sich um ein ausgedehntes Waldgebiet im Norden Brandenburgs. Der Flug war ein Erfolg: Dank des SUCOM-Moduls blieb die Kommunikation mit der Drohne unterbrechungsfrei. ■

Staffellauf des Wissens

*Herr Prof. Michael Waidner, wie sind die **kritischen Infrastrukturen** in Forschung und Wirtschaft in Deutschland in Bezug auf **Cybersicherheit** aufgestellt?*

Staffellauf des Wissens, Folge 6

Herr Prof. Michael Waidner, wie sind die kritischen Infrastrukturen in Forschung und Wirtschaft in Deutschland in Bezug auf Cybersicherheit aufgestellt?

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. Michael Waidner**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT, auf eine Frage von **Prof. Tobias Melz**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF.

Die Cybersicherheitslage hat sich in den vergangenen Jahren dramatisch entwickelt, auch in Deutschland. Nach einer Umfrage des Branchenverbands Bitkom erlitten 2021 mindestens 84 Prozent aller Unternehmen in Deutschland Schäden infolge entsprechender Angriffe mit einem Gesamtschaden von ungefähr 203 Milliarden Euro – eine horrend Summe, weit mehr als zum Beispiel die jährlichen Schäden durch Naturkatastrophen oder durch Unfälle im Straßenverkehr. Betroffen waren nicht nur Unternehmen, sondern auch Verwaltungen wie der Landkreis Anhalt-Bitterfeld, Wissenschaftseinrichtungen wie die TU Berlin und natürlich auch Privatpersonen.

Die Ziele der Angreifer sind vielfältig, es geht um Spionage, Erpressung, Raub von Kryptowährungen, Identitätsdiebstahl zum Kreditkartenbetrug, Desinformation zur Destabilisierung, Sabotage und die Zerstörung physischer Systeme. Häufig sollen Systeme auch »nur« lahmgelegt werden. Die Urheber von Cyberangriffen reichen von Einzeltätern über kriminelle Gruppen, die Angriffe als Dienstleistung anbieten, bis hin zu Gruppen, die im Auftrag von Staaten operieren und gezielt vorgehen.

Es gibt keine Anhaltspunkte, dass die Bilanz für 2022 besser aussehen wird. Ganz im Gegenteil, der Krieg in der Ukraine und die

Verschlechterung der wirtschaftlichen Situation vieler Menschen weltweit dürften eher zu einem Anstieg von Cyberangriffen führen.

Cyberspionage ist sehr wahrscheinlich

Aus dem Ausland sind diverse Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen mit teilweise deutlichen Folgen für die Bevölkerung bekannt. Ein ukrainischer Stromversorger wurde 2015 Opfer einer vermutlich staatlich gelenkten russischen Gruppe; mehr als 200 000 Menschen waren für Stunden ohne Strom. Der amerikanische Pipelinebetreiber Colonial Pipeline wurde 2021 Opfer eines Ransomware-Angriffs. Die Attacke richtete sich zwar gegen die Verwaltungssysteme der Firma, aber Colonial Pipeline schaltete sicherheitshalber auch seine Pipelines ab; das Benzin wurde knapp, in 17 Staaten wurde der Notstand ausgerufen.

Erfolgreiche Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen in Deutschland im Sinne der BSI-Kritisverordnung – also solche, deren Ausfall nachhaltig wirkende und dramatische Folgen für mehr als 500 000 Menschen hätte – wurden bislang noch nicht verzeichnet. Die Cybersicherheit solcher Infrastrukturen wurde vom Gesetzgeber stark reguliert, sodass sie gegen die üblichen, auf viele Opfer zugleich ausgerichteten Cyberangriffe vergleichsweise gut abgesichert sind. Es ist also eher unwahrscheinlich, dass eine kritische Infrastruktur in Deutschland als zufälliges Opfer einer Ransomware-Angriffswelle auf dramatische Weise ausfällt. Sehr wahrscheinlich können staatlich gelenkte Cyberkriminelle aber auch kritische Infrastrukturen in Deutschland erfolgreich angreifen. Wie BND-Vizepräsident Wolfgang Wien im Juni 2022 berichtete, gibt es Hinweise, dass russische und chinesische Gruppen kritische Online-Infrastrukturen in Deutschland bereits unterwandert haben, um Daten zu stehlen oder um Schadsoftware in Position zu bringen. Ähnliche Hinweise gibt es auch in den USA und Australien. Cyberspionage gegen kritische



Prof. Michael Waidner leitet das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT und das Nationale Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE.

Infrastrukturen ist also sehr wahrscheinlich. Cybersabotage halte ich für ebenso wahrscheinlich oder unwahrscheinlich wie Sabotage mit herkömmlichen, kinetischen Mitteln. Die politischen Erwägungen dürften stets im Vordergrund stehen, nicht die Frage, welches Werkzeug zur Sabotage eingesetzt wird.

Wir müssen ambitionierter werden

Die Cybersicherheitslage klingt also düster – aber sie ist keineswegs hoffnungslos. Wir müssen allerdings insgesamt aktiver und ambitionierter werden.

Die Cybersicherheit vieler Unternehmen, Verwaltungen und Wissenschaftseinrichtungen in Deutschland bleibt weit hinter dem Stand der Technik zurück. Es fehlt an Motivation, Investitionsbereitschaft, aber auch an Personal. Letzteres ist gerade in Deutschland besonders gefährlich, da hierzulande immer noch die Meinung vorherrscht, man sei dann am besten geschützt, wenn man alles selbst macht. In anderen Ländern wird sehr viel mehr auf Dienstleister und Cloudanbieter zurückgegriffen. Die Umsetzung allgemeiner Empfehlungen wie etwa die des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) für den IT-Grundschutz wür-

de einen Großteil der heute erfolgreichen Angriffe zumindest für den Augenblick abblocken. Viel wäre auch erreichbar, wenn der Kreis der kritischen Infrastrukturen nach BSI-Kritisverordnung deutlich erweitert würde.

Wichtig ist zudem, dass wir in Deutschland zügig die Modernisierung unserer Cybersicherheitsarchitekturen angehen. Von enormer Bedeutung ist hier fraglos die Umsetzung des Zero-Trust-Paradigmas. Bislang basiert die Cybersicherheit vieler Organisationen auf der Vorstellung, es gebe eine Art Vertrauensgrenze zwischen den eigenen Systemen und denen im Internet. Alles im Inneren ist vertrauenswürdig, alles außen ist verdächtig. Geschützt wird diese Grenze durch Firewalls und VPNs. Die Realität sieht aber völlig anders aus: Cyberangreifer schaffen es fast immer in das Innere, und damit ist diese Grenzziehung eigentlich sinnlos. Der Schutz muss also sehr viel umfassender und feingranularer organisiert werden. Auch hier hinken wir anderen Ländern hinterher. Beispielsweise hat die US-Bundesregierung alle Bundesbehörden darauf verpflichtet, bis Ende 2024 eine Zero-Trust-Architektur zu implementieren. Wie Zero Trust praktisch für Firmen, Behörden und Wissenschaftseinrichtungen umgesetzt werden kann, ist derzeit eines der wichtigsten Themen in meinem Institut und im Nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE. ■

In der nächsten Ausgabe:

Wie sieht die IT-Forschungseinrichtung der Zukunft aus, wie gestaltet sich »New Work« in der Wissenschaft?

Grün isst die Zukunft

Seit 3,5 Milliarden Jahren produzieren Algen Sauerstoff. Jedes zweite Sauerstoffmolekül, das wir einatmen, stammt von ihnen. Die Photosynthese-Wunder könnten in Zukunft helfen, uns auch mit Nahrung zu versorgen.

Von Dr. Sonja Endres, Fotografie: André Kirsch



Welternährung



Egal ob Bier, Eis oder Bacon – Elke Böhme von der Fraunhofer IMTE in Lübeck hilft Produktentwicklern aus der Lebensmittelindustrie, die richtigen Algen-Zutaten zu finden.



Feines Pulver aus Mikroalgen, das es in sich hat. Dr. Ulrike Schmid-Staiger vom Fraunhofer IGB hat die Kunst der Algen-Kultivierung perfektioniert. Mehr Proteine? Oder lieber mehr Kohlenhydrate? Alles kein Problem.

»Im Vergleich zu Landpflanzen haben unsere Algen einen um den **Faktor 10** höheren Gehalt an ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffen.«

Dr. Ulrike Schmid-Staiger,
Fraunhofer IGB



Am 15. November ist der achtmilliardste Mensch geboren worden, so haben es die Vereinten Nationen errechnet. Die Weltbevölkerung hat sich in nur 50 Jahren verdoppelt. Auch wenn sich der Zuwachs mittlerweile deutlich verlangsamt hat: Prognostiziert sind für 2030 bereits 8,5 Milliarden Menschen, für 2050 9,7 Milliarden. Mehr Menschen, das bedeutet: weniger Ackerland, weniger Trinkwasser und weniger Nahrung pro Kopf. Die Klimakrise führt dazu, dass sich die Mangelsituation zusehends verschärft. Durch Desertifikation, also die Verschlechterung des Bodens bis zur Wüstenbildung, geht weltweit jedes Jahr Anbaufläche von der Größe Bayerns verloren. Bereits ein Drittel der fruchtbaren Böden ist in den vergangenen 40 Jahren unbrauchbar geworden – eine Folge der Überbeanspruchung als Acker- und Weideland. Dabei werden bis 2050 rund 70 Prozent mehr Lebensmittel benötigt als heute, schätzt die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Helfen könnten Wasserorganismen, die ganz zu Unrecht vor allem in der europäischen Ernährungswirtschaft noch ein Nischendasein führen: Algen.

Algen enthalten so viel Proteine wie Soja, reichlich wertvolle Ballast- und Mineralstoffe, außerdem Vitamin B12, das sonst nur in tierischen Produkten zu finden ist. Das Superfood braucht kein Frischwasser und kein Land. Es wächst nachhaltig im Meer oder wird als einzellige Mikroalge in meist geschlossenen Anlagen gezüchtet.

Winzig, aber oho!

Dr. Ulrike Schmid-Staiger ist Gruppenleiterin Algenbiotechnologie am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Seit 25 Jahren perfektioniert sie die Kultivierung von Mikroalgen in sogenannten Photobioreaktoren – transparente Wassertanks, in denen die Winzlinge mit Licht, CO₂ und Nährstoffen versorgt werden, bis sie zu einer dicken grünen Suppe herangewachsen sind. Zurzeit widmet sich Schmid-Staiger vor allem der maritimen *Phaeodactylum tricornutum*, die besonders große Mengen an Omega-3-Fettsäuren bilden kann, und der *Chlorella vulgaris*, die sich in Tümpeln und Brackwasser am wohlsten fühlt und sich durch einen hohen Proteingehalt von rund 50 Prozent auszeichnet. Die beiden Algen sind mit bloßem Auge im Wasser nicht zu erkennen. »Im Vergleich zu Landpflanzen haben unsere Algen einen um den Faktor 10 höheren Gehalt an ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffen«, erklärt Schmid-Staiger stolz. Jede einzelne Zelle enthält den gleichen reichhaltigen Mix. Bei Landpflanzen gibt es hingegen Wurzeln, Stängel und Blätter. Die stoffliche Zusammensetzung der Zellen ►

in den verschiedenen Pflanzenteilen ist unterschiedlich – der Proteingehalt im Maiskorn ist anders als der in den Blättern oder der Wurzel. »Unsere gezüchtete Algenbiomasse kann ich vollständig nutzen. Es gibt kaum Reststoffe«, betont Schmid-Staiger. Und das sind nicht die einzigen Vorteile, die Mikroalgen zu bieten haben: Sie wachsen nämlich auch noch viel schneller als ihre pflanzlichen Verwandten an Land. Während auf einem Hektar Ackerland etwa 30 Tonnen Biomasse Mais pro Jahr erzielt werden können, sind es in Photobioreaktoren mit künstlicher Beleuchtung auf der gleichen Fläche bis zu 150 Tonnen Algen. Mit den ausgefeilten Systemen, die Schmid-Staiger und ihr Team entwickelt haben, können sogar Spitzenwerte von rund 900 Tonnen pro Hektar und Jahr erreicht werden.

Dafür schaltet das Fraunhofer IGB-Team Flachplattenreaktoren mit drei bis fünf Zentimeter Schichtdicke dicht gedrängt hintereinander. Dazwischen werden jeweils LED-Paneele eingezogen, die beidseitig strahlen und für eine ausreichende Versorgung mit Licht sorgen. »Licht ist das A und O der Algenkultivierung«, unterstreicht Schmid-Staiger. Die Intensität und die möglichst gleichmäßige Verteilung bestimmen die Wachstumsrate. Der Reaktorinhalt wird daher durch aufsteigende Gasblasen eines Luft-CO₂-Gemischs kontinuierlich durchmengt. Kleine Vorsprünge an den Innenseiten des Reaktors erzeugen eine spezielle Strömung, die dafür sorgt, dass jede Zelle immer wieder zum Licht an die Reaktoroberfläche gewirbelt wird und ausreichend versorgt ist. »Habe ich zu viel Licht, ist die Umsetzung ineffizient, dann vergeude ich Energie. Habe ich zu wenig, wachsen die Algen nicht gut. Wir müssen das Optimum dazwischen erwischen«, so Schmid-Staiger. Je mehr Zuwachs es gibt, desto mehr Licht wird benötigt – es muss also ständig nachgesteuert werden. Dabei sind die Bedürfnisse von Alge zu Alge unterschiedlich: »Unsere Phaeodactylum mag beispielsweise nicht so viel Licht. Die Chlorella ist hingegen eine Sonnenanbeterin«, sagt Schmid-Staiger und schmunzelt.

Nährwert-Mix nach Wunsch

Lange haben sie und ihr Team die Algen auch im Freiland kultiviert. »Da mussten wir nehmen, was die Sonne uns geboten hat. Wir konnten nur ein halbes Jahr draußen produzieren, dann wurden die Tage zu kurz.« Die künst-

liche Beleuchtung ist zwar teurer, aber sie zahlt sich aus: Die Produktivität ist bis zu zehnmal so hoch. Außerdem können die dicht gepackten Photobioreaktoren überall stehen, auch unterirdisch und übereinandergestapelt. Der Flächenbedarf ist entsprechend gering. Auf 20 Quadratmetern wachsen pro Jahr bis zu 3,5 Tonnen Algen. Die gleiche Menge Sojabohnen braucht einen ganzen Hektar fruchtbares Ackerland, dazu rund 2000 Kubikmeter Wasser. Die Algen wachsen in nur einem Viertel davon. Zudem kann das eingesetzte Wasser größtenteils für eine erneute Zucht wiederverwendet werden.

Schmid-Staiger und ihr Team können die Bedingungen der Kultivierung so wählen, dass die Algen bestimmte Inhaltsstoffe vermehrt produzieren. »Dazu muss man natürlich wissen, welche Funktion diese Inhaltsstoffe für die Algenzelle haben. Mehr Nährstoffe sorgen beispielsweise für eine erhöhte Produktion von Proteinen, weniger Nährstoffe für mehr Kohlenhydrate und Fette«, erklärt sie. Besonders gefragt sind in der Lebensmittelindustrie zurzeit die Algen-Proteine, die tierische ersetzen sollen. Sie werden extrahiert und am Fraunhofer-Institut für

Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in vegane Lebensmittel eingebracht. Besonders herausfordernd ist es dabei, den fischigen Geschmack und die grüne Farbe zu beseitigen.

Fruchtig statt fischig

Dr. Stephanie Mittermaier, Abteilungsleiterin Verfahrensentwicklung Lebensmittel, experimentiert zunächst mit Smoothies, Pasta und Pesto. Da ist die Farbe kein Problem. Durch verschiedene Aromastoffe oder Kräuter wird der Algengeschmack überlagert. »Bei den Smoothies arbeite ich gerne mit geschmacksintensiven Früchten, weil da die Säure in den Vordergrund tritt und das Fischige verdrängt«, verrät Mittermaier. Ansonsten konzentriert sie sich auf herzhaftere Produkte: »Das Würzige haben die Algen ja auch, den sogenannten Umami-Geschmack.« Mit der Dosis tastet sie sich langsam voran. Dabei muss sie nicht nur auf den Geschmack achten, sondern auch auf die Konsistenz der Lebensmittel. »Wenn ich zum Beispiel in den Nudelteig zu hohe Konzentrationen einbringe, kann er bröckelig werden und lässt sich nicht mehr so gut verarbeiten.« Ob sie ihre Kreationen auch selbst kostet? »Klar, das ist wichtig, wenn man experimentiert. ▶

»Licht ist das A und O der Algenkultivierung.«

Dr. Ulrike Schmid-Staiger,
Fraunhofer IGB





Dr. Stephanie Mittermaier vom Fraunhofer IVV tastet sich mit der Dosis langsam voran. Bevor es zur Verkostung geht, probiert sie immer selbst.

Algen haben einen hohen Proteingehalt von bis zu

50 %

und verfügen über einen reichhaltigen Mix an Ballaststoffen, Fetten, Vitaminen und Mineralstoffen.

»Es steckt so viel Gutes in Algen. Das ist ohne Frage eine wichtige Quelle für die Ernährung der Menschheit.«

Dominic Wimmer,
Fraunhofer IVV

Wimmer kocht gerne und oft mit Algen. Sein Geheimitipp: gebratenes Dorschfilet umhüllt mit einem Blatt Saccharina latissima. »Schmeckt herrlich karamellig«, schwärmt er.



Damit ich weiß, was ich meinen Probanden und unserem geschulten Panel aus Institutsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern antue«, sagt sie und lacht.

Langfristig könnte sie sich auch gut vegane Fisch-Alternativen mit einer Kombination aus Algen- und Pflanzenproteinen vorstellen. Hier ist der fischige Geschmack der Alge sogar ein Vorteil. Problematisch bleibt aber die Farbe. Grünes Lachsfilet oder grüner Kabeljau? Nein, danke. »Vermutlich gehen wir eher in Richtung Thunfisch. Bräunlich könnten wir hinkriegen, weiß ist unmöglich.« Denn die Algen-Farbstoffe sind entweder selbst Proteine oder so eng damit verbunden, dass sie sich nicht entfernen lassen, ohne die Proteine zu beschädigen.

Während Mikroalgen bisher vor allem als Nahrungsergänzungsmittel in Tablettenform auf dem Markt sind, sind Lebensmittelindustrie und Verbraucher mit den mehrzelligen maritimen Makroalgen vertrauter. Die meisten kennen sie vom Sushi, wo die süßlich-würzige Nori-Alge Reis und Fisch umhüllt. Doch während in der asiatischen Welt Algen seit Jahrhunderten fester Bestandteil des Speiseplans sind, tun sich die Europäer noch schwer mit dem Superfood. Als Salat oder als Suppe kommt es kaum auf den Tisch. Doch selbst Sushi-Verächter haben vermutlich schon Alge gegessen, ohne es zu merken: Alginat und Carrageen sind gebräuchliche Zusatzmittel. Alginat fungiert häufig als Gelatine-Ersatz, Carrageen sorgt beispielsweise in Sahne dafür, dass sie nicht »ausflockt« und sich das Fett gleichmäßig verteilt.

Genau wie Mikroalgen haben Makroalgen einen hohen Proteingehalt von bis zu 50 Prozent und verfügen über einen reichhaltigen Mix an Ballaststoffen, Fetten, Vitaminen und Mineralstoffen wie Zink, Eisen, Selen, Kalium, Kalzium und vor allem Jod. Sie werden meistens an langen Seilen im Meer gezüchtet. Die Kultivierung ist sehr nachhaltig, da ausschließlich natürlich vorhandene Ressourcen genutzt werden. Ein Nachteil: Wegen jahreszeitlicher und klimatischer Schwankungen sind Qualität und Gehalt der Inhaltsstoffe variabel. Auch ist die lebensmitteltechnologische Verarbeitung aufwendiger als bei ihrer einzelligen Verwandtschaft aus dem Reaktor.

Algen-Wurst? »Lecker«, sagen die Testesser

Dominic Wimmer, Projektleiter Pilotanlagen am Fraunhofer IVV, erklärt: »Gerste oder Weizen haben ihre Kohlenhydrate und Proteine einfach in der Kornmitte ge-

speichert. Wenn ich die Körner durch die Quetschmühle jage, liegt der Mehlkörper frei und ich kann ihn direkt nutzen. Bei Makroalgen sind die Proteine und Kohlenhydrate jedoch fest in der Zellwand verankert, da sind zahlreiche Extraktionsschritte notwendig.«

Die getrockneten Algenblätter müssen zunächst fein vermahlen werden, um die Zellen möglichst weit aufzuschließen. Damit sich die wertvollen Inhaltsstoffe lösen, gibt Wimmer zum Algenpulver unter anderem Enzyme,

die beispielsweise aus einer Schnecke gewonnen werden, die Algen frisst und verstoffwechselt. Auch Salzsäure und Natronlauge nimmt er zu Hilfe. Das Pulver wird mehrmals in Wasser eingeweicht, das Gemisch erwärmt und dabei gerührt. Die Inhaltsstoffe entweichen nach und nach ins Umgebungswasser, dann wird immer wieder abzentrifugiert, also in einer Zentrifuge Feststoff und haltvolle wässrige Lösung getrennt. So ist es Wimmer gelungen, Proteine aus Makroalgen mit einer

hohen Ausbeute von bis zu 90 Prozent zu extrahieren, die er beispielsweise in vegane Wurst einbringt – mit großem Erfolg. Die Algen-Wurst schnitt bei den Testessern sogar besser ab als das Vergleichsprodukt aus Fleisch.

Ein Leben für die Algen

Wimmer »brennt für Algen«, wie er selbst sagt. Der studierte Braumeister war einige Jahre als Berater für die Lebensmittelindustrie tätig, bevor er als Verfahreningenieur ans Fraunhofer IVV wechselte. In diversen Projekten hat er sich seitdem mit der Nutzung von Algen als Lebensmittel beschäftigt. Er entwickelte unter anderem einen gesunden Salzersatz aus Algen, den er in Snacks wie Chips oder Erdnüssen einbrachte, und experimentierte mit Algen in Brot, Fleischwaren, Suppen oder Soßen. Seine Versuche, den fischigen Geschmack aus den Algen zu entfernen, blieben allerdings bisher erfolglos. »Entweder wir gewöhnen uns mehr daran, oder ich finde noch einen Weg, den herauszukriegen«, sagt er und lacht. »Es steckt so viel Gutes in Algen. Das ist ohne Frage eine wichtige Quelle für die Ernährung der Menschheit. Ich sehe wahnsinnige Chancen für die Lebensmittelindustrie«, ist er überzeugt.

Und auch die Lebensmittelindustrie sieht das zunehmend so. Der Markt für vegane Produkte wächst rasant. In Deutschland wurden laut Statistischem Bundesamt im Jahr 2021 rund 62 Prozent mehr vegane Wurst, Schnitzel und Co. produziert als 2019. Fleischverzicht liegt vor ►

Problematisch bleibt
aber die Farbe.
Grünes Lachsfilet
oder grüner Kabel-
jau? Nein, danke.





Mehr als nur fischig: Elke Böhme von der Fraunhofer IMTE schätzt die geschmackliche Vielfalt der Algen und will sie Menschen näherbringen.

allem bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Trend: Im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung ernähren sich doppelt so viele 15- bis 29-Jährige vegetarisch (10,4 Prozent) oder vegan (2,3 Prozent). Als Flexitarier, die nur selten Fleisch essen, bezeichnen sich 25 Prozent. 44 Prozent wollen ihren Konsum künftig reduzieren, vor allem aus Klima- und Tierschutzgründen. Eine aktuelle Studie der Boston Consulting Group bestätigt, dass alternative Proteine auch für die Ernährungssicherheit eine zentrale Rolle spielen können. Das investierte Kapital ist von einer Milliarde Dollar im Jahr 2019 auf fünf Milliarden im Jahr 2021 gestiegen – eine jährliche Zuwachsrate von 124 Prozent.

Viele Produktentwickler in der Lebensmittelindustrie haben jedoch noch keine klare Vorstellung davon, wie sie den Rohstoff Alge einsetzen können. Ihnen helfen Elke Böhme und ihr Team an der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Lübeck. Die Lebensmitteltechnologin bietet regelmäßig Algen-Workshops für die Ernährungswirtschaft an, um zu zeigen, wie vielfältig die Meeresspflanzen verwendet werden können. Gelegentlich wird sie auch von Unternehmen kontaktiert, die »irgendwas mit Algen« machen wollen. Dann klärt sie über verschiedene Algenarten auf, informiert über ihre Besonderheiten und über Anwendungsmöglichkeiten. Eine Verkostung gehört immer mit zum Programm. »Wenn man die Produkte schmecken, riechen und fühlen kann, ist es für die Workshop-Teilnehmer viel leichter, eigene Ideen zu entwickeln«, sagt Böhme.

Algen mit Walnuss-Geschmack

Die Bandbreite möglicher Anwendungen ist groß. Böhme hat Algenextrakte schon in Müsliriegel eingearbeitet, in Barbecue-Soße, in Brotaufstriche, Bier, Limonade oder Gin. »Gerade arbeiten wir an einem veganen Bacon, für den wir den würzigen Umami-Geschmack der Rotalge nutzen. Um den noch besser herauszuziehen, haben wir ein spezielles Verfahren entwickelt«, erzählt sie. Es gebe zwar auch eine Alge, die gebraten genau wie Bacon schmecke. »Aber das Aussehen und die Konsistenz sind natürlich anders. Von den Verbraucherinnen und Verbrauchern werden Ersatzprodukte bisher nur akzeptiert,

wenn sie das Original möglichst perfekt imitieren.« Für vegane Burger-Pattys nutzt Böhme daher beispielsweise den Farbstoff der Rotalge. Er verfärbt sich in der heißen Pfanne von Rot zu Braun – genau wie man es von Rindfleisch kennt.

Für Überraschung sorgt bei den Workshop-Teilnehmern regelmäßig das Algen-Eis. »Die meisten rechnen nicht damit, dass Alge auch nach Walnuss schmecken kann«, sagt sie. »Um ehrlich zu sein: Auch wir haben das nicht erwartet.«

Aber auch Alge pur verkosten Böhme und ihre Kolleginnen und Kollegen, um die Produktentwickler aus der Industrie mit der Geschmacksvielfalt vertraut zu machen. Besonders gut kommen die leicht würzigen Meeresspaghetti an, die Himanthalia elongata. »Wir kochen sie einfach zusammen mit normalen Spaghetti. So braucht man weniger Salz und das Essen wird gleich gesünder«, erzählt Böhme. Sie ist überzeugt: Ernährungsgewohnheiten lassen sich ändern. Man muss nur

mehr Berührungspunkte mit Alternativprodukten schaffen. Bei ihr selbst hat es schon gewirkt: Auch privat kocht Böhme inzwischen häufiger mit Algen. Ihre Lieblingsalge? »Die Nori, weil sie so schön dunkellila ist. Und wunderbar nach Umami schmeckt.« ■

Es ist angerichtet: Meeresspaghetti mit ihrem bekannteren Pendant aus Hartweizengrieß. Spart Salz und ist gesund.

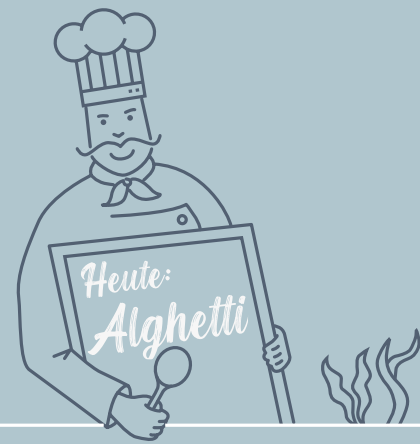


Böhme ist überzeugt: Ernährungsgewohnheiten lassen sich ändern. Man muss nur mehr Berührungspunkte mit Alternativprodukten schaffen.



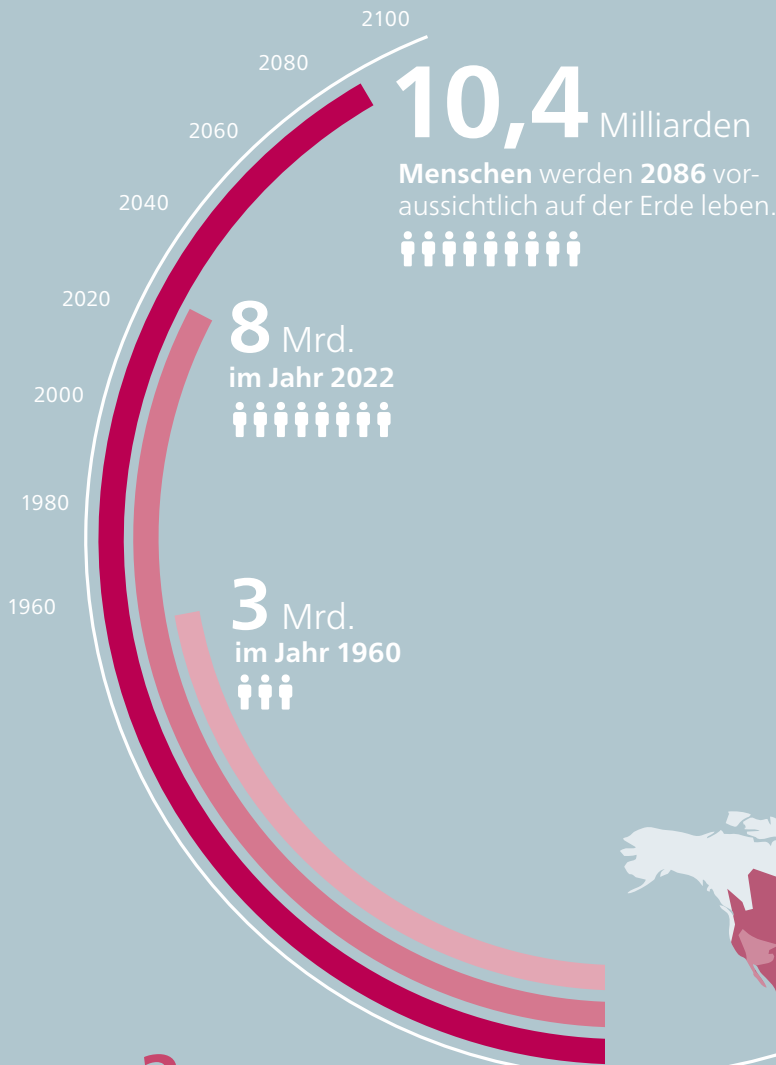
Wie werden wir alle satt?

Die Weltbevölkerung wächst, die Ackerfläche schrumpft – was sichert die Ernährung der Zukunft? Eine Möglichkeit: Algen. Sie lassen sich ressourcenschonend anbauen und haben einen hohen Nährwert.



Bis 2050 werden etwa **70 % mehr Lebensmittel** benötigt als heute.

+70%



10,4 Milliarden

Menschen werden **2086** voraussichtlich auf der Erde leben.



8 Mrd. im Jahr 2022



3 Mrd. im Jahr 1960



Knapp **2** Mrd.



leiden am sogenannten »**Verborgenen Hunger**«, weil ihnen lebenswichtige Vitamine und Mineralien fehlen.

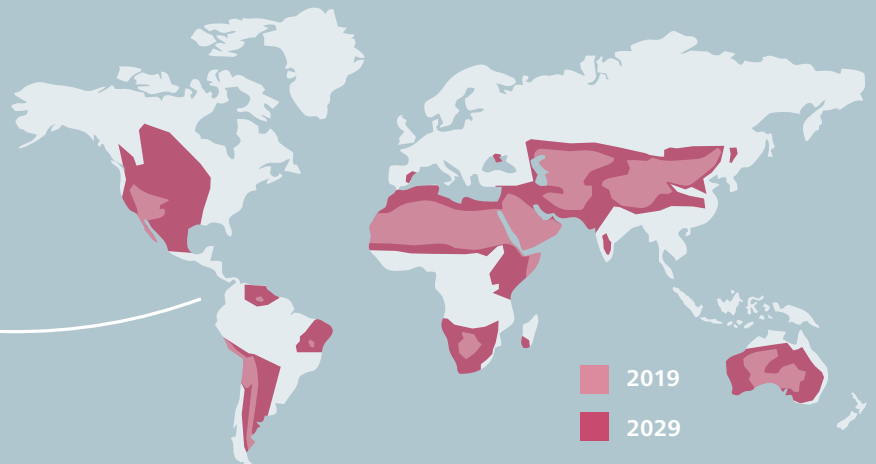
Klimawandel

Klimawandel und Bodendegradation führen dazu, dass **Dürren** häufiger und heftiger werden. Seit dem Jahr 2000 nahmen sie um **29 Prozent** zu. Jedes Jahr sind **55 Millionen** Menschen betroffen.

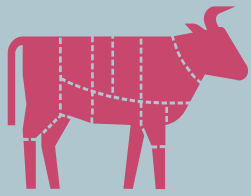
55 Mio. Menschen sind weltweit jährlich von Dürre betroffen

Desertifikation

In den vergangenen **40 Jahren** ist rund ein **Drittel** der weltweiten Ackerfläche **unbrauchbar** geworden – durch Überweidung, Entwaldung und Auslaugung der Böden. Die **globale Verwüstung** wird in den nächsten Jahren **massiv** zunehmen.



2019
2029



320
Millionen Tonnen

Steigender Fleischkonsum

Der **weltweite Fleischkonsum** hat sich in den vergangenen **20 Jahren** mehr als **verdoppelt** und erreichte **320 Millionen Tonnen** im Jahr 2018.

1 Mrd. Tonnen



Soja und Mais werden weltweit jährlich verfüttert.



3 ×

Die **Anbauflächen für Soja** sind inzwischen **dreimal so groß wie Deutschland**.



Etwa **70 Prozent** der gesamten **globalen landwirtschaftlichen Nutzfläche** werden für die **Viehzucht** verwendet.



Auf **einem Hektar Ackerland** können pro Jahr etwa **3,5 Tonnen Sojabohnen** produziert werden. Für die **gleiche Menge Mikroalgen** werden nur **20 Quadratmeter Fläche** benötigt – der **Protein-gehalt** ist vergleichbar.

10 000 m² (1 ha)

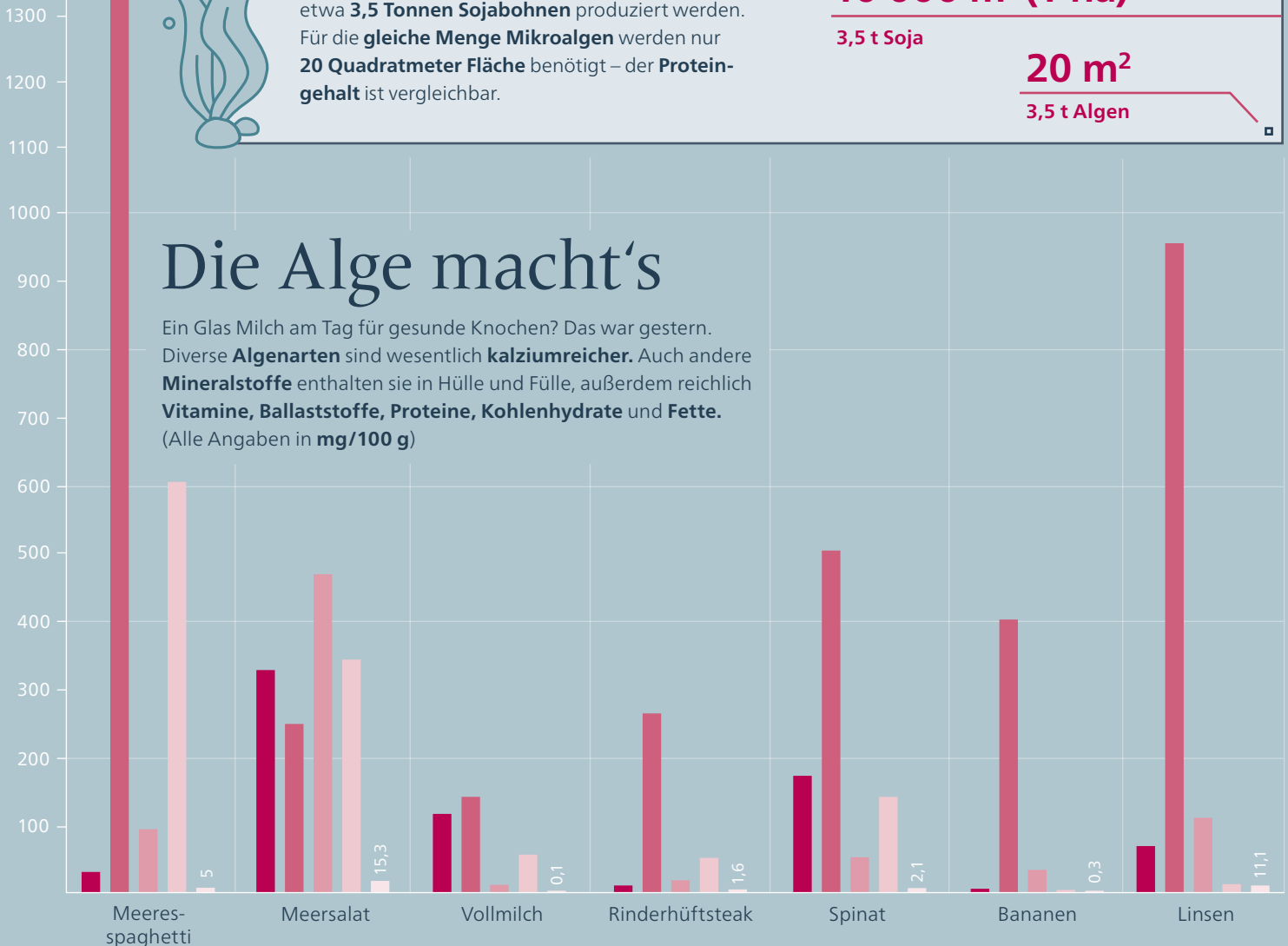
3,5 t Soja

20 m²

3,5 t Algen

Die Alge macht's

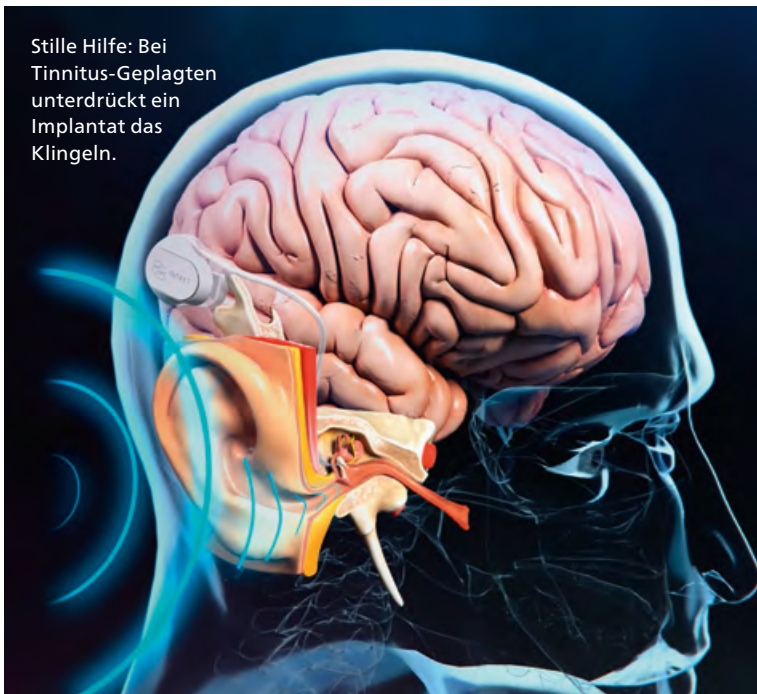
Ein Glas Milch am Tag für gesunde Knochen? Das war gestern. Diverse **Algenarten** sind wesentlich **kalziumreicher**. Auch andere **Mineralstoffe** enthalten sie in Hülle und Fülle, außerdem reichlich **Vitamine, Ballaststoffe, Proteine, Kohlenhydrate** und **Fette**. (Alle Angaben in **mg/100 g**)



Legende: Kalzium Kalium Magnesium Natrium Eisen

Illustrationen: NounProject, Robert Grill / Quellen: Fleischatlas 2021, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Institut de Phytonutrition, France, McCance RA et al. McCance and Widdowson's Composition of Foods, 6th ed. Cambridge. Royal Society of Chemistry; 1993, UNO World Population Prospects 2022, Vereinte Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung (UNCCD), Weltungerhilfe

Stille Hilfe: Bei Tinnitus-Geplagten unterdrückt ein Implantat das Klingeln.



Netzwerk der Miniatur-Helfer

Koordiniert vom Fraunhofer IBMT, hat der Innovationscluster INTAKT eine neue Generation von Mikroimplantaten entwickelt, die miteinander kommunizieren und aufeinander reagieren können. Und eines Tages hoffentlich vielen Menschen das Leben erleichtern werden.

Von Beate Strobel

Unversehrt, funktionsfähig, gesund: Das Adjektiv »intakt« bedeutet all das – und zugleich sehr viel mehr. Wer körperlich intakt ist, für den ist es leichter, sich beruflich einzubringen und am sozialen Leben teilzuhaben. Im Innovationscluster INTAKT steht die Vokabel als Abkürzung für das Projekt »INTer-AKTive Mikroimplantate«. Doch die Entwicklung solcher winzigen, in den Körper einbringbaren Helfer hat immer auch das Ziel, Menschen mit funktionalen Einschränkungen ein gewisses Maß an Lebensqualität zurückzugeben.

Vom Hirn- und Herzschrittmacher über Hörimplantate bis hin zur Handprothese: Aktive Implantate, auch bekannt als »Bioelectronics«, können über elektrische Impulse Nerven stimulieren oder deren afferente Aktivitäten modulieren. Anders als viele Medikamente wirken diese Hightech-Minis direkt und lokal. Sie haben kaum Nebenwirkungen, denn sie funktionieren wie der Körper selbst: über elektrische Signale. Doch auch wenn Mikroimplantate derzeit zu den technisch aufwendigsten Medizinprodukten zählen, haben sie noch Schwachstellen: Kabelverbindungen zwischen Zentralimplantat und Elektroden können brechen, Batterien müssen regel-

mäßig ausgetauscht werden. Und einmal eingestellt, war die Funktion des Implantats von außen bislang nur schwer zu verändern.

Aufgabe des vom Bundesforschungsministerium geförderten Innovationsclusters INTAKT war deshalb, eine neue Generation von aktiven, miteinander vernetzten Mikroimplantaten zu entwickeln, die idealerweise lebenslang im Körper verbleiben können. Mit dem Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT als Verbundkoordinator entwickelten 18 Kooperationspartner aus Wirtschaft, Wissenschaft und dem klinischen Bereich ein Netzwerk aus bis zu zwölf miteinander drahtlos, in Echtzeit und sicher kommunizierenden Mikroimplantaten.

Zusammenarbeit auf Augenhöhe

Nicht nur die kleinen Elektroteile interagieren miteinander. Auch von außen können Patient und Arzt nun endlich jederzeit mit dem Implantate-Verbund kommunizieren. »Über Laptop oder Smartphone kann der Betroffene seine eigenen Implantate jederzeit so einstellen, wie es seinen momentanen Bedürfnissen entspricht, und gemeinsam mit dem Arzt die Therapie oder Rehabilitation optimieren«, erklärt Prof. Klaus-Peter Hoffmann, Hauptabteilungs-

leiter Biomedizintechnik am Fraunhofer IBMT. Damit sei ein entscheidender Schritt in Richtung partizipativer Entscheidungsfindung möglich, also eine Arzt-Patienten-Zusammenarbeit auf Augenhöhe.

Für das 2016 gestartete Verbundprojekt INTAKT hatten sich die Cluster-Partner zunächst drei Anwendungsfelder ausgesucht: die Behandlung von Tinnitus (umgangssprachlich als »klingelnde Ohren« bezeichnet) durch Mikroimplantate im Mittelohr, die Milderung von Motilitätsstörungen, also die Korrektur von Muskelbewegungsstörungen im gastrointestinalen Bereich, sowie die zumindest teilweise Wiederherstellung der Greiffunktion der

»Über Laptop oder Smartphone kann der Betroffene seine eigenen Implantate jederzeit so einstellen, wie es seinen momentanen Bedürfnissen entspricht.«

Prof. Klaus-Peter Hoffmann,
Fraunhofer IBMT

Komplexe Funktionalität auf kleinstem Raum: Das verkapselte Mikroimplantat beinhaltet eine acht-lagige Platine.



Hand nach einer Querschnittslähmung. Alle drei unterscheiden sich nicht nur in der Aufgabe des Implantats, sondern auch im Aufwand: von zwei einzusetzenden Mikroimplantaten bei der Tinnitus-Unterdrückung bis zu zwölf zur Bewegungs-Initiierung in Arm und Hand.

Geladen wird induktiv und adaptiv

Bei der Tinnitus-Applikation etwa stimuliert jeweils ein Implantat über das Runde Fenster die Cochlea, moduliert so die Aktivitäten im Hörnerv und »verrauscht« dadurch das Phantomgeräusch, das rund zehn Millionen Menschen in Deutschland den Alltag verleidet und nachts nicht zur Ruhe kommen lässt. Um gastrointestinale Motilitätsstörungen zu beheben, wie sie etwa nach Bauchraum-Operationen, bei Querschnittsgelähmten oder Diabetikern vorkommen, erfassen die strategisch im Magen-Darm-Trakt verteilten Implantate die Aktivität jeweils eines Abschnitts und kommunizieren dieses Wissen an eine zentrale Steuereinheit. Diese wertet die Datenlage aus und motiviert dann die entsprechenden Implantate zur Stimulation des gesamten Intestinaltraktes und bewirkt so einen möglichst störungsfreien Verdauungsprozess.

Besonders komplex ist die partielle Wiederherstellung der Greiffunktion. Dafür können bis zu zwölf Muskeln des Unterarms von dem Mikroimplantat-Netzwerk in koordinierter Weise stimuliert und so bis zu acht Handbewegungen wiederhergestellt werden. Der Patient kontrolliert die Handbewegung dabei über ein Eye-Tracking-System: Vorab definierte Augen-, Lid- und Kopfbewegungen geben Befehle an die zentrale Steuereinheit weiter, die dann entsprechend das Implantat-Netzwerk orchestriert.

»Mit der Entwicklung dieses Netzwerks haben wir gleich mehrere Vorteile geschaffen«, erläutert Elektroingenieur Roman Ruff, Gruppenleiter am Fraunhofer IBMT. Einer davon sei die höhere Biostabilität: »Sensoren und Aktoren wurden direkt in das Gehäuse integriert, sodass wir auf empfindliche Kabelverbindungen verzichten konnten.« Die Implantate interagieren stattdessen über Funk und Infrarot miteinander. Als Netzwerk können sie auch komplexe Vorgänge im Körper therapieren und größere Organe stimulieren. Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS hat für die Implantate einen stark miniaturisierten ASIC (»application-specific integrated circuit«, also eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung) entwickelt, der zum einen Biosignale etwa aus dem Armmuskel oder aus Magen und Darm erfassen und weitergeben, aber auch die dazu passende Elektrostimulation initiieren kann.

Ein Flaschenhals für Weiterentwicklungen von »Bioelectronics« ist die Energieversorgung. Batterien brauchen Platz und müssen regelmäßig ausgetauscht werden, was bei einem Verbund aus Implantaten besonders aufwendig ist, da jedes einzelne Gerät hier je nach Beanspruchung einen individuellen Energieverbrauch hat. INTAKT setzt auf induktive Ladung. Eine zentrale Steuereinheit liefert dem Implantat-Netzwerk so für 24 Stunden zuverlässig Energie. Diese Basisstation kann der Patient bei den drei aktuellen Anwendungsfeldern entweder als Arm- oder Bauchmanschette oder als Ear-Wearable hinter dem Ohr tragen. »Die Energieversorgung von außen ermöglicht eine Langzeitstabilität des Implantat-Verbunds«, betont Klaus-Peter Hoffmann. »Außerdem

erfolgt die Energieversorgung adaptiv – jedes einzelne Implantat erhält nur genau die Strommenge, die es benötigt.« Für den Notfall ist eine Batterie als Pufferspeicher im Implantat integriert, die ebenfalls regelmäßig induktiv geladen wird.

Auch soziale, rechtliche und ethische Implikationen der Mensch-Technik-Interaktion waren Bestandteil der Arbeit des Innovationsclusters. Etwa die Herausforderung, wie Plattformen und Bedienelemente gestaltet werden müssen, damit sie nicht nur die unterschiedlichen Anwendungsbereiche abbilden, sondern auch sowohl vom Arzt als auch vom Patienten selbst einfach und sicher bedient werden können. Oder die Frage, welche Umgebungsdaten beim Eye Tracking aufgezeichnet, verarbeitet und gespeichert werden müssen. Klaus-Peter Hoffmann nennt als Beispiel das Tragen der Brille beim Saunagang: »Auch dort muss ein Betroffener ja greifen können, um sich an- und ausziehen oder das Handtuch auszubreiten. Doch was ist mit den Persönlichkeitsrechten der anderen Saunabesucher?« Fragen, auf die es keine einfachen Antworten gibt.

Erste präklinische Tests und Probandenstudien haben bereits gezeigt, dass die bislang entwickelten INTAKT-Applikationen funktionieren. Dennoch ist es ein weiter Weg, bis diese tatsächlich in Menschen implantiert werden können.

In Sachen Miniaturisierung der jetzt bereits nur noch daumennagelgroßen Mikroimplantate sieht der Koordinator des Fraunhofer IBMT noch Spielraum. Es gilt, insbesondere Partner aus der Industrie zu gewinnen, um den mit INTAKT eingeschlagenen Weg weiter zu beschreiten. ■

INTAKT Verbundpartner: Fraunhofer IBMT, Universitätsmedizin Mainz, Universitätsklinikum Heidelberg, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Fraunhofer IIS, Universität Mannheim, TU Ilmenau, GeSiM Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH, inomed Medizintechnik GmbH, Soventec GmbH, Wilddesign GmbH & Co.KG, IL Metronic Sensortechnik GmbH, Glück Engineering GmbH, Würth Elektronik GmbH & Co.KG, VARTA Microbattery GmbH, Heraeus Medical Components, CeramTec-ETEC GmbH, CTC advanced GmbH

Stimme aus der Wirtschaft



Prof. Klaus Josef Lutz, 64, leitet seit 14 Jahren die Geschicke des weltweit tätigen Agrarhandelskonzerns BayWa AG.

Die Krise als Katalysator

Pandemie, Krieg und Hitzesommer befeuern ein Umdenken in der Lebensmittelproduktion. Smart Farming, Agri-PV und alternative Proteine könnten den großen Durchbruch erleben.

Ein Standpunkt von Prof. Klaus Josef Lutz, Vorstandsvorsitzender der BayWa AG

Die Krise wirkt als Katalysator: Ohne die Pandemie hätte die Digitalisierung nicht ihren großen Durchbruch erlebt. Homeoffice oder der Videotermin beim Arzt wären weiter Zukunftsmusik. Nun stellen der Krieg in der Ukraine und die durch den Hitzesommer – endlich! – wieder ins Bewusstsein gerückte Klimakrise unseren Way of Life auf die Probe. Im gesättigten Deutschland haben wir Ernährungsengpässe in anderen Regionen lange mit einem Schulterzucken abgetan. Jetzt sind auch hierzulande Grundnahrungsmittel teurer geworden und manches Supermarktregal bleibt temporär leer. Die Nachfrage nach Betriebsstoffen wie Dünger ist hoch, die Lieferketten sind brüchig. Es greift alles ineinander: Fehlt Energie, können keine Gebinde wie etwa Glasflaschen produziert werden.

Es ist Zeit für ein Umdenken in der Landwirtschaft, in der Lebensmittelproduktion und -distribution. Die gute Nachricht: Die nötige Technik ist vorhanden. Wir müssen nur anfangen, sie in größerem Maßstab zu nutzen. Und uns nicht mit Lamenti aufhalten. Standpunkt-Diskussionen wie »Öko versus Konventionell« helfen nicht weiter. Stattdessen können wir uns sowohl aus ökologischer wie geopolitischer Sicht darauf einigen: Am besten ist, was mit möglichst wenig Ressourcenaufwand in der Region kultiviert und auch direkt dort konsumiert wird. Dies gilt universell – egal, ob in Oberbayern, Australien oder Afrika.

Drei Trends, die aus meiner Sicht unsere Versorgung mit Nahrungsmitteln revolutionieren werden:

Smart Farming: Mittels Teilflächenmanagement können Landwirte genauer ermitteln und steuern, was sie wann wo in welcher Menge säen, bewässern und düngen. Auch in der Bekämpfung von Unkraut oder Schädlingen hilft GPS-gesteuerte Hightech: Selbstfahrende Hack-Roboter rücken aus und gleichen den Mangel an Arbeitskräften aus. Besser noch: Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann signifikant reduziert werden. Satellitenbilder dokumentieren den Erntefortschritt – bis hin zu volkswirtschaftlich relevanten Analysen wie den vom BayWa-Tochterunternehmen VISTA in diesem Sommer gelieferten Ertragsprognosen für die Ukraine.

Ländern mit schwierigen klimatischen Grundvoraussetzungen eröffnet Smart Farming die Möglichkeit, unabhängig von Im-

»Am besten ist, was mit möglichst wenig Ressourcenaufwand in der Region kultiviert und auch direkt dort konsumiert wird.«

Prof. Klaus Josef Lutz

- ▶ ist seit 2008 Vorstandsvorsitzender der BayWa AG. Lutz trieb sowohl die Diversifizierung als auch die Internationalisierung des 1923 gegründeten Unternehmens voran, bewahrte aber gleichzeitig dessen historische Wurzeln.
- ▶ Zuvor sanierte der 64-Jährige als Geschäftsführer unter anderem den Süddeutschen Verlag, in dem die »Süddeutsche Zeitung« erscheint. Lutz ist seit 2021 Präsident der Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern.
- ▶ Der geborene Münchner studierte Rechtswissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität und wurde 1987 als Rechtsanwalt zugelassen.
- ▶ 2013 wurde Lutz von der Technischen Universität München zum Honorarprofessor für Betriebswirtschaftslehre des Genossenschaftswesens bestellt.

porten zu werden. Hier wie dort lohnt es zu hinterfragen, ob die bisherigen Anbaumethoden und -gebiete, die Fruchtfolgen und Lager-techniken zukunftsfähig sind. Ein Ergebnis der geowissenschaftlichen Analysen könnte sein, dass wir künftig mehr Soja oder Sorghum auf deutschen Feldern heranreifen sehen.

Agri-PV: Mit Agri-Photovoltaik (Agri-PV) schlagen wir mehrere Fliegen mit einer Klappe: Die Nutzung von Ackerflächen für die Stromproduktion senkt den Flächenverbrauch und steigert gleichzeitig die Produktivität im Pflanzenanbau. Ein Beispiel aus Gelsdorf in Rheinland-Pfalz, wo BayWa r.e. und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ein Forschungsprojekt initiiert haben: Mittels über den Baumkronen platzierter PV-Module werden Äpfel gezielt beschattet und vor Starkregen, Hagel oder Frost geschützt. Der erzeugte Strom kann direkt für elektrische, autonom fahrende Ackerhelfer oder die Bewässerungstechnik genutzt werden.

Alternative Proteine: Alternative pflanzenbasierte oder auf Zellbasis produzierte Proteine werden als Ergänzung zu den klassischen Fleisch-, Fisch- und Milchprodukten zunehmend attraktiv. Sie können oft lokal und ganzjährig produziert werden.

Ein schönes Beispiel ist das Berliner Startup VEgg, das ein veganes Ei samt Schale produziert. Noch weiter geht ein junger Mann aus Österreich, den ich Anfang 2022 auf dem von uns veranstalteten »Future Food«-Kongress kennenlernen durfte: Sein Unternehmen Kern Tec erzeugt Backzutaten und Öle aus Aprikosen- und Kirschkernen, die sonst im Müll landen. Reste-Essen im wahrsten Sinne des Wortes. Oder investorentauglicher ausgedrückt: Upcycling und Zero Waste.

Was soll jetzt noch schiefgehen bei der Revolution der Lebensmittelproduktion und -versorgung? Zwei Faktoren könnten das Momentum abschwächen: Zum einen unsere Bequemlichkeit und mangelnde Weitsicht. Zum anderen fürchte ich die Regulierungswut der deutschen und europäischen Behörden. Da kann ein Entrepreneur noch so viele Unterstützer für sein Projekt gewinnen – steht ihm nur ein einzelner Beamter im Weg, ist schnell Schluss mit Innovation. Nur gut, wenn man – wie die VEgg-Mitgründerin Verónica García-Arteaga – einen Intermediär wie die Fraunhofer-Gesellschaft an seiner Seite weiß. ■

Erste Reihe für alle

Den Avatar ins Konzert schicken: Das Projekt SocialSTAGE-VR will das Kulturevent digitalisieren – und zu einem sozialen Erlebnis machen.

Von Beate Strobel



Am 20. August 2022 gab Sängerin Helene Fischer ihr einziges Live-Konzert des Jahres. Mehr als 130 000 Fans drängten sich zum Münchner Messegelände: Chaos bei der Anreise und beim Einlass. Von den billigen Plätzen aus war der Star des Abends kaum zu erkennen, war die Musik kaum zu hören. Dafür regnete es in Strömen, und das in einem der trockensten Sommer überhaupt. Selbst diejenigen Besucher, die sich das »Premium VIP-Package« der Schlagerkönigin gegönnt hatten, wurden nass. Für 599 Euro pro Person.

Was aber wäre, wenn alle 130 000 Gäste einen First-Class-Zugang bekommen könnten? Erste Reihe, beste Sicht, bester Sound – und trockene Füße?

Im Projekt SocialSTAGE-VR, finanziert vom Bundesforschungsministerium und koordiniert von der TU Chemnitz, arbeiten aktuell Forschung und Kunst daran, dass diese Vision Wirklichkeit wird. Ziel des Projekts ist es, Kulturevents – beispielsweise Theater, Oper, Konzerte – in 3D aufzuzeichnen und auf eine virtuelle Bühne zu beamten. Mittels VR-Brille kann das Publikum live dabei sein und trotzdem zu Hause bleiben. Im



Zusammen statt alleine: Die virtuellen Stellvertreter beim Event sollen auch interagieren können.



»Wir entwickeln die Technologie für das YouTube im Metaverse.«

Dr. Frank Dittrich,
TU Chemnitz; Initiator
und Projektkoordinator
von SocialSTAGE-VR

Illustrationen: SocialSTAGE-VR, Ready Player Me

Zentrum des Projekts stehen das möglichst reale optische und akustische Erlebnis sowie die soziale Komponente: Über Avatare als digitale Stellvertreter im virtuellen Raum sollen die Gäste miteinander reden, lachen und feiern können.

Aus einer Vielzahl von Fotoaufnahmen wurde bereits eine virtuelle 3D-Kopie vom Zuschauerraum des Opernhauses in Chemnitz als Bühne für erste Erprobungsstudien erstellt. Damit dort eines Tages Live-Inhalte gezeigt werden können, müssen diese optisch wie akustisch so aufgezeichnet und wiedergegeben werden, dass es sich für den Zu-

schauser möglichst real anfühlt. An dieser Stelle kommt das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS zum Einsatz, das bereits seit Beginn Projektpartner bei SocialSTAGE-VR ist.

Maximale Immersion als Ziel

Das Fraunhofer IIS-Team bringt sich unter anderem durch Aufzeichnungstechnologien mittels sogenannter Lichtfeldkameras ein, die alle Lichtstrahlen innerhalb eines Raumes festhalten. »Dieser Content wird von uns so aufbereitet, dass

Der **globale Umsatz** mit Virtual Reality für 2025 wird auf **22,37 Milliarden US-Dollar** prognostiziert. 2020 betrug er noch 4,48 Milliarden US-Dollar. (ARtillery Intelligence, 2021)

Der **Absatz von VR- und AR-Brillen** soll weltweit von 5,84 Milliarden im Jahr 2020 auf **50,46 Milliarden Stück** 2026 steigen. (IDC, 2022)

er über eine VR-Brille nahtlos wiedergegeben werden kann und ein maximal immersives Erlebnis garantiert«, erklärt Dr. Joachim Keinert, Leiter der Gruppe »Computational Imaging & Algorithms« am Fraunhofer IIS. Speziell entwickelte Algorithmen sollen die sogenannte Parallaxe ermöglichen, also die scheinbare Verschiebung des Bühnengeschehens, sobald der Betrachter seine Position verändert, indem er sich etwas zur Seite lehnt.

Auch die Akustik fällt in den Aufgabenbereich des Fraunhofer IIS. Die Forschenden steuern dafür eine sogenannte Bibliothek für die räumliche Klangwiedergabe bei, mittels derer die Tonsignale so aufbereitet werden, dass sich alle Klangquellen – Schauspieler, Orchester, aber auch das Klatschen und andere Zuschauergeräusche – der Kopfhaltung des Zuschauers anpassen. »Bei Nutzung eines Kopfhörers würde sich der Klang ja stets mitdrehen – so, als würde sich auch das Orchester entsprechend zur Kopfdrehung bewegen«, erklärt Keinert. Da das Orchester aber an der



»Die virtuelle Ebene bietet Künstlern und Fans Chancen, mit denen Live-Entertainment nicht dienen kann.«

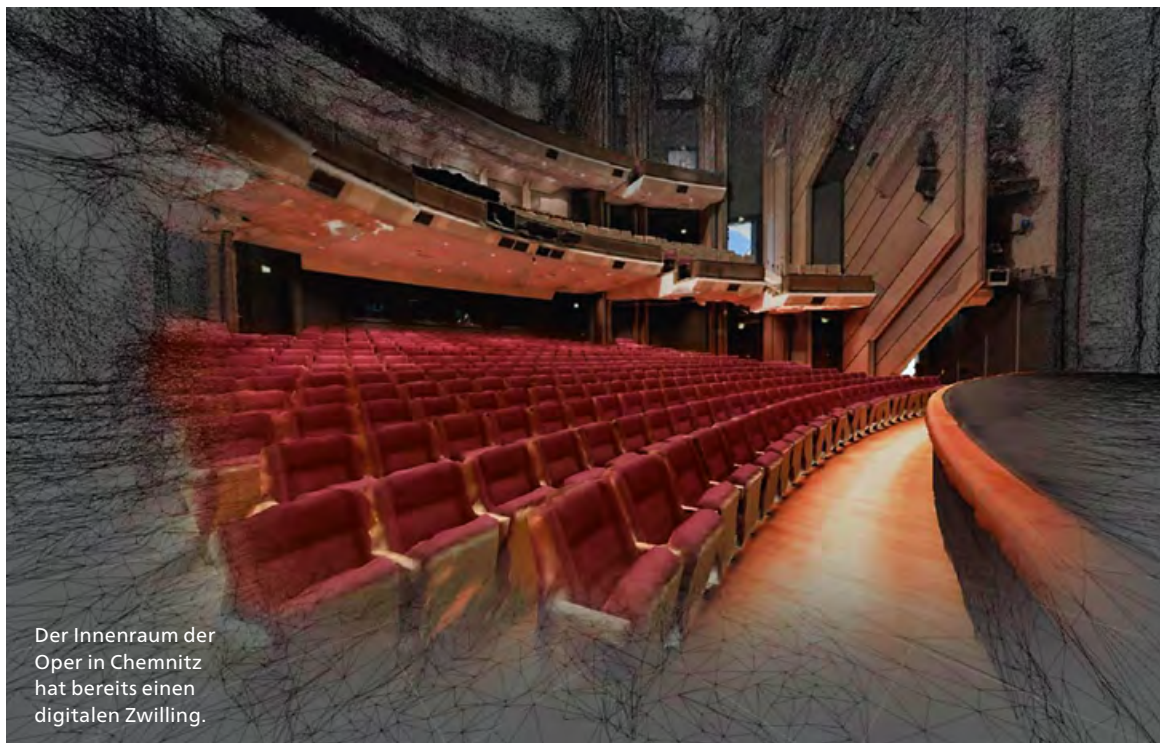
Robert »Bob« Schütze, Bassist der am Projekt beteiligten Berliner Band MiA.

Branche nach Alternativen suchte. »Viele Bereiche der Kulturszene hatten sich bis dahin nur am Rande mit dem Thema Digitalisierung beschäftigt«, sagt

gleichem Stelle bleibt, muss für ein möglichst immersives Erlebnis die Kopfbewegung akustisch ausgeglichen werden. Vereinfacht gesagt, wird die Klangszene entgegen der Bewegung gedreht.

Die Kulturbranche hat Nachholbedarf beim Thema Digitalisierung

»Unser Projekt will ein Gefühl des Mittendrinseins trotz realer Distanz ermöglichen«, fasst es Frank Dittrich zusammen. Der promovierte Wirtschaftsingenieur der Technischen Universität Chemnitz (Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement) ist Initiator und Koordinator des Projekts. Die Idee zu SocialSTAGE-VR kam ihm in der ersten Corona-Welle 2020, als Live-Events unmöglich wurden und die



Der Innenraum der Oper in Chemnitz hat bereits einen digitalen Zwilling.

Dittrich. »Das erwies sich in der Pandemie für viele als echter Nachteil.«

Die Berliner Elektropop-Band MiA. etwa hatte just zu Beginn der Pandemie ihr Album »Limbo« auf den Markt gebracht und mit dem ersten Lockdown keine Möglichkeit mehr, es live zu präsentieren. Die Künstler behielten sich mit einem Streaming-Event, das Bassist Robert »Bob« Schütze im Rückblick für »sehr gelungen« hält, das aber dennoch nur an der obersten Schicht der technischen Möglichkeiten kratzte. »Die virtuelle Ebene bietet Künstlern und Fans so viele neue Chancen. Das macht sie nicht zum Ersatz des Live-Konzerts, aber doch zu einer spannenden Ergänzung.«

»Ich sehe SocialSTAGE-VR eher als eine zusätzliche Chance für die Kulturbranche, ihre Inhalte sehr viel weiter und anders zu verbreiten als bisher«, bestätigt Frank Dittrich. Als Avatar am Event teilnehmen könnten dann auch jene Menschen, die ein gesundheitliches Handicap haben oder die Anreise scheuen, denen die Musik zu laut ist oder die keine Lust haben, sich in der Menschenmenge vor der Bühne zu drängeln.

Wenn Avatare winken, klatschen und einander zuwinkern

»Die Teilnahme über Avatare ermöglicht aber nicht nur eine räumliche, sondern auch eine soziale Präsenz«, führt Dittrich weiter aus. Geplant ist, dass die künstlichen Abbilder auch die reale Gestik und Mimik widerspiegeln können – dank Erkennungstechnologien in den VR-Brillen. Dass diese Geräte sich zum technologischen Must-have der nahen Zukunft entwickeln, »ist die Wette, die wir mit SocialSTAGE-VR eingehen«, sagt Dittrich. Er setzt darauf, dass Virtual Reality zunächst die Arbeitswelt durchdringen wird und der Büromensch von morgen mit einer VR-Brille an nicht real vorhandenen Bildschirmen arbeitet oder sich per Telepräsenz mit örtlich entfernten Kollegen in virtuellen Räumen trifft. Einen weiteren Technologie-Schub erwartet er zudem von der Vision eines künftigen Metaverse, in dem Menschen sich auch privat virtuell treffen, um miteinander shoppen zu gehen oder eben auch Kulturevents zu besuchen.

Das Fraunhofer IIS arbeitet auch an anderen Projekten, die sich damit beschäftigen, Kulturereignisse virtuell zugänglich zu machen. Doch für Joachim Keinert nimmt SocialSTAGE-VR durch die Fokussierung auf das Nutzererlebnis eine besondere Stellung ein: »In dem Projekt geht es darum, eine optimale Lösung für Menschen zu entwickeln, anstatt den Menschen an die technischen Möglichkeiten anzupassen.«

Aufgabe ist deshalb, die Technologie so niedrigschwellig zu gestalten, dass sie für jede Art Kulturereignis – von der New Yorker MET bis hin zum Heavy-Metal-Festival in Wacken –, von jedem Veranstalter und auch von jedem Nutzer ganz einfach verwendet werden kann. Projektinitiator Frank Dittrich denkt hier groß: »Wir entwickeln die Technologie für das YouTube im Metaverse.«



»Wir wollen eine Lösung für Menschen entwickeln, anstatt den Menschen an die technischen Möglichkeiten anzupassen.«

Dr. Joachim Keinert,
Elektroingenieur
und Gruppenleiter
»Computational Imaging &
Algorithms« beim Fraunhofer IIS, Erlangen

Im November geht MiA. nun erst einmal auf Konzerttournee – 26 Auftritte auf ganz realen Bühnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz und vor ganz realen Menschen. Danach aber will Schütze sich unbedingt weiter einbringen bei SocialSTAGE-VR. Sein Credo ist, lieber früh mitzumischen, anstatt später einem Trend hinterherzulaufen. »Vor 25 Jahren waren wir einer der Vorreiter in der deutschen Popmusik. Das trauen wir uns nun auch auf einer anderen Ebene zu.«


Die Frage, ob sie sich **die Nutzung einer VR-Brille** vorstellen könnten, bejahten 2018 nur 17 % der Deutschen. 2021 war dieser Anteil bereits auf

41 %
gestiegen.
(Bitkom, 2022)

Der **Umsatz mit VR-Inhalten** in Deutschland wird laut Prognose von 40 Millionen Euro (2019) auf

280
Millionen Euro
(2024) steigen.
(Deloitte)

Mit **79 %** wird **VR-Technologie** in Deutschland am häufigsten für Computer- und Videospiele genutzt, gefolgt von Filmen (67%), das Bereisen von Orten (63%) und Musikkonzerten (41%).
(Bitkom, 2022)



Etwa jeder 100. Mensch in Deutschland tut sich schwer, die eigenen Gefühle und die anderer zu deuten.

Emotion als Herzensprojekt

Autisten fehlt das Gefühl fürs Gefühl – das macht ihnen auch das Arbeitsleben schwer. Ein Team des Fraunhofer IAO um den Neuroarbeitswissenschaftler Dr. Mathias Vukelic entwickelt technische Hilfsmittel, die Umgebung für sie fühlbarer machen.

Von Yvonne Weiß

Lächelt mein Gegenüber – oder zeigt es mir die Zähne? Kneift es die Augen vor Lachen zusammen – oder blickt es streng? Etwa jeder 100. Mensch in Deutschland tut sich schwer, die eigenen Gefühle und die anderer Menschen zu deuten und einzuschätzen. Das ist nur ein Aspekt, welcher Autistinnen und Autisten im Alltag schwerfällt. Das Fehlen eines Gefühls fürs Gefühl beeinträchtigt – je nach individueller Ausprägung – das Privatleben; es erschwert aber auch ganz erheblich den Zugang zum Arbeitsleben. Mit dem Projekt UFO will der Neuroarbeitswissenschaftler Dr. Mathias Vukelic vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO Menschen, die an Autismus erkrankt sind, die zwischenmenschliche Interaktion gerade im beruflichen Alltag erleichtern.

Um die Kommunikationshürden zu reduzieren, entwickelt das Projektteam einen virtuellen, geschützten Trainingsraum, der durch eine Virtual-Reality-(VR-)Brille zugänglich ist. Dort werden zunächst Hirnsignale und andere physiologische Prozesse des Probanden durch unterschiedliche Neuro- und Physio-Sensorik gemessen: veränderte Hirn- und Herzaktivität, das Schwitzen der Haut.

Anschließend sollen die physiologischen Messungen in spürbare Impulse als taktiles Feedback »übersetzt« werden. Die Emotionen werden über ein spezielles Armband oder einen Handschuh mithilfe von Frequenzmustern oder Vibrationen an den Nutzer übermittelt.

»Bei dem taktilen Feedback fokussieren wir uns zunächst auf das Ziel, die eigenen Gefühle in positiv oder negativ einzuordnen«, erläutert Vukelic. Bereits diese Einordnung sei für Autistinnen und Autisten normalerweise nicht möglich. Da sie aber die Grundlage bildet, um später in sozialen Interaktionen auch komplexere Gefühle wie Angst, Wut oder Freude vornehmen zu können, sei sie aktuell das primäre Ziel.

An der Frage, in welcher Stärke der Druck später ausgeübt wird, um jeweils ein positives oder negatives Gefühl zu signalisieren, forschen Vukelic und sein Team aktuell noch. »Unser Ziel ist ein Kalibrationsverfahren zu entwickeln, das von jeder Person als angenehm empfunden wird«, so Vukelic.

Emotionen tasten

Die Idee, taktile Interfaces für die Mensch-Technik-Interaktion zu nutzen, besteht laut Vukelic schon länger im Team. Blinde Menschen können beispielsweise bereits durch einen vibrierenden Navigationsgürtel mit eingebautem Kompass leichter von A nach B kommen.

»Unsere Überlegung ist nun, ob man einen taktilen Sinn auch nutzen kann, um Emotionen zu erlernen und zu verarbeiten, also einen Sinn für Emotionen zu bekommen«, so Vukelic. Die Methode, Hirnsignale zu messen und durch ein Feedback die eigene Hirnaktivität zu beeinflussen, könnte außer bei Autismus beispielsweise auch bei Krankheiten wie Depressionen oder Angststörungen zum Einsatz kommen.

»Wir wollen Technik so gestalten, dass sie den Menschen unterstützt, dass sie ihm assistiert, wo Bedarf ist, und dementsprechend die individuellen Bedürfnisse und Fähigkeiten dann auch fördern kann.« Unter diesem Leitsatz arbeitet Vukelic seit 2015 am Fraunhofer IAO in Stuttgart. Nach seinem Studium der Biomedizinischen Technik mit Schwerpunkt Neural Engineering und seiner Promotion im Bereich der Neuro- und Verhaltenswissenschaften mit Schwerpunkt Brain-Computer-Interfaces leitet Vukelic seit 2021 die Abteilung »Applied Neurocognitive Systems«. Dort erforscht er mit seinem Team, wie Mensch und Technik effizient zusammenarbeiten können. Vukelics Anliegen ist dabei, »angewandte Neurowissenschaften so als neue Forschungsdisziplin zu etablieren, dass sie für die Arbeitswissenschaft genutzt werden können.«

Besseres Verständnis ist das Ziel – und zwar in beide Richtungen

Neben Vukelic und seinem Team vom Fraunhofer IAO sind die Abteilungen »Lehren und Lernen mit intelligenten Systemen LLiS«, »Berufspädagogik mit Schwerpunkt Technikdidaktik BPT«, sowie das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart bei UFO mit an Bord. Vonseiten der Entwicklung und Industrie beteiligen sich die Sensovo GmbH, ein Start-up für »Wearable Technologies«, die mit taktilem Feedback ausgestattet sind, NIRx Medizintechnik GmbH, ein Hersteller für Neurosensorik, sowie die auticon GmbH, eine IT-Beratung, die Autistinnen und Autisten als IT-Consultants beschäftigt.

Langfristig will Vukelic mit seinem »Herzensprojekt« Menschen aus dem Autismus-Spektrum ermöglichen, durch Technologie neben den eigenen auch die Emotionen von Mitmenschen deuten zu können. Die Entwicklung eines entsprechenden VR-Moduls könnte aber nicht nur Betroffenen den Zugang zu den Gefühlen ihrer Mitmenschen ermöglichen, sondern auch andersherum. Und ausgerechnet die oft als emotionslos beschriebene Technik würde zu mehr Verständnis und einem sensibleren Umgang miteinander führen. ■



Dr. Mathias Vukelic, Fraunhofer IAO, bei der Vorbereitung eines Versuchs mit EEG (Elektroenzephalographie).

»Wir wollen Technik so gestalten, dass sie den Menschen unterstützt.«

Dr. Mathias Vukelic

Auf den Pilz bauen

Die Natur als Material-Lieferant: Pilzwerkstoffe haben großes Potenzial als ökologische und ressourcensichere Alternative zu Ziegel, Zement und Styropor.

Von Beate Strobel

Wer über die Zukunft des Wohnens nachdenkt, darf gerne einen Blick gen Schlumpfhausen werfen. Er-funden vom belgischen Künstler Peyo, leben die Schlümpfe in ausgehöhlten Pilzen. Damit sind die blauen Cartoon-Helden grüne Vorreiter: Ihre Häuser verbrauchen keine fossilen Rohstoffe, sondern werden von der Natur im Wortsinn frei Haus geliefert. Schlümpfe kennen weder Lieferengpässe noch Baustoff-

mangel. Und wenn ihre Häuser ausgedient haben, landen sie einfach auf dem Kompost.

All das sind gute Gründe, warum die Bau-branche derzeit neidisch werden könnte. Infolge der Corona-Pandemie, aber auch durch Russ-lands Angriffskrieg in der Ukraine belasten Lieferengpässe viele Bauprojekte zeitlich und finanziell. Baumaterial sei so knapp wie seit 1991 nicht mehr, meldete das Kölner Ifo-Institut im Juni 2022. ►



Fadendünn und weit verzweigt: Das Pilzmyzel ist in der Lage, organisches Material zu durchwachsen und zu zersetzen.

Die im Projekt FungiFacturing entwickelte Paste kann mittels 3D-Druck in Form gebracht und dann vom Pilz durchwachsen werden.



Rund **120 000 Pilzarten** sind wissenschaftlich erfasst. Die Forschung geht aber von bis zu vier Millionen Arten aus.

Der **größte lebende Organismus** weltweit ist ein Pilz: Inklusive Myzel erstreckt sich ein Hallimasch in Oregon über rund 1000 Hektar.

Da er keine Photosynthese betreibt, ist der Pilz enger **mit den Tieren verwandt** als mit den Pflanzen.

Pilzsporen können sogar im **Weltall** überleben.

Ein Quadratmeter Waldboden enthält rund **eine Milliarde Myzelien** oder Pilzsporen.

Es gibt Pilzarten, die Plastik, Dioxin oder Rohöl verstoffwechseln können. Manchen dient sogar **radioaktive Strahlung** als Energiequelle.

Besonders rar sei Baustahl, aber auch Ziegelsteine und Dämmmaterial fehlen auf deutschen Baustellen. Binnen eines Jahres ist Zement um knapp 15 Prozent teurer geworden, Polystyrol um 25 Prozent, Bauholz um 39 Prozent und Betonstahl gar um 79 Prozent.

»In der Baubranche muss dringend ein Wandel stattfinden«, diagnostiziert Biodesignerin Julia Krayer vom Fraunhofer UMSICHT. Denn »in Deutschland wird aktuell viel und schnell gebaut, aber auch ähnlich schnell wieder abgerissen«. Jährlich entstehen neue Gebäude aus Milliarden Tonnen Kalk, Kies, Sand und Stahl. Beim Abriss werden Zement und Beton bestenfalls noch als minderwertiges Füllmaterial im Straßenbau verwendet, andere Baumaterialien sind schlichtweg Sondermüll ohne Chance auf Recycling. Die Bau- und Immobilienbranche ist für 38 Prozent der globalen Kohlendioxid-Emissionen verantwortlich. Und spielt dadurch eine entscheidende Rolle für das Erreichen der Pariser Klimaziele.

Kleber aus der Natur-Werkstatt

Der Pilz könnte dabei helfen. Oder zumindest das, was dem Schwammerl zugrunde liegt. Denn der eigentliche Pilzorganismus lebt unter der Erde und bildet dort ein vielfach verzweigtes Pilzfäden-Geflecht. Dieses sogenannte Myzel ist in der Lage, den Waldboden, Holz und anderes organisches Material zu durchwachsen und wie Kitt zu einer festen Struktur zu verbinden. Dies macht Pilze zu einem interessanten Kandidaten als Baustoff der Zukunft.

Am Fraunhofer UMSICHT haben Biodesignerin Julia Krayer und Biologin Lina Vieres in Ko-

operation mit dem Fraunhofer IBP und gefördert vom Bundeslandwirtschaftsministerium im Projekt FungiFacturing die Entwicklung pilzbasierter Dämmstoffe vorangetrieben. Gestartet war das Team 2016 mit der Idee, aus Myzel und pflanzlichem Substrat einen umweltfreundlichen Schallabsorber zu kreieren. Es zeigte sich, dass der Pilzwerkstoff tatsächlich akustisch wirksam ist und somit Karriere machen könnte als umweltfreundlicher Schallschutz im Bau. Bislang kommen vor allem Polyesterschäume oder Verbundstoffe auf Mineralfaserbasis als akustische Abschirmung in Räumen zum Einsatz.

Ein weiteres Ergebnis des FungiFacturing ist eine Paste, die aus Stroh und anderen Reststoffen der Agrar- und Forstwirtschaft besteht. »Diese Substanz eignet sich für den 3D-Drucker, was eine große Gestaltungsvielfalt ermöglicht«, erklärt Lina Vieres. »Anschließend kann die gedruckte Form vom Pilzmyzel durchwachsen werden, so dass sie eine feste Struktur erhält.« Aber auch ohne »Pilzkleber« besitzt die Paste bereits »interessante Werkstoff-Charakteristika«, betont Vieres. Denkbar sei beispielsweise ein Einsatz in der Bauplattenproduktion. Entscheidend ist aber der bioökonomische Gedanke der Kreislaufwirtschaft und des Upcyclings: »Aus einem bisherigen Abfallprodukt entsteht ein neues Material.« Mit dem zusätzlichen Vorteil, dass das im Rohstoff gebundene Kohlendioxid nicht bei der Müllverbrennung freigesetzt wird, sondern gebunden bleibt.

Die Wärmedämmung könnte ein weiteres interessantes Einsatzgebiet für den Pilzwerkstoff sein. Vieres hat mit unterschiedlichen Substratkomponenten und Pilzarten experimentiert, um die optimale Kombination in Sachen Wärmeleit-

Pilz bei der Arbeit: Das Substrat wird vom Myzel durchwachsen und dadurch hart. Durch Trocknung wird der Pilz am Ende abgetötet.



Die Bau- und Immobilienbranche ist für **38 Prozent** der globalen Kohlendioxid-Emissionen verantwortlich.

fähigkeit herauszufinden. Auch wenn die Forschungsreihe klein war, zeigte sich bereits, dass das Myzel-Material in Sachen Wärmedämmung zumindest mit der Holzfaserplatte mithalten kann. Im Vergleich zum Polystyrol – bislang der meistverwendete Baustoff in der Gebäudedämmung – schneidet die Pilzvariante schlechter ab. Doch Vieres ist optimistisch: »Ich kann mir gut vorstellen, dass sich durch andere Grundsubstanzen und Verarbeitungsweisen die Wärmeleitfähigkeit weiter verbessern lässt.«

Dafür hätte eine Pilzdämmung andere Vorteile. Der ökologische Fußabdruck beispielsweise dürfte vermutlich erfreulich klein sein. Das Pilzmaterial kann – anders als die üblichen Verbundwerkstoffe – beim Gebäudeabriss einfach recycelt oder aber kompostiert werden. Und sobald eine automatisierte und energieeffiziente Herstellung möglich ist, könnte es auch relativ preisgünstig produziert werden, schließlich handelt es sich bei den Grundstoffen um Abfallware. »Wir testen viele unterschiedliche, aber möglichst regional anfallende Reststoffe, um eine gewisse Ressourcensicherheit zu ermöglichen«, sagt Krayer.

In Workshops haben die beiden Forscherinnen das Material bereits der Industrie vorgestellt; vor allem die Baubranche, aber auch Automobilhersteller oder Unternehmen aus der Verpackungsproduktion haben Interesse gezeigt. »Sie durften es in Wasser tauchen oder versuchen, es anzuzünden oder zu brechen«, erzählt Krayer. Denn »man muss den Pilzwerkstoff in der Hand gehabt und erlebt haben, um sein Potenzial zu verstehen«. In den Workshops wurde aber auch deutlich, dass die Industrie zwingend verbindliche Kennwerte des neuen Baustoffs etwa zu Stabilität, Brandver-

halten oder hydrophoben Eigenschaften braucht, um einen Einsatz abschätzen zu können. »Das wollen wir in Folgeprojekten angehen«, sagt Krayer. Doch auch wenn noch viele Fragen offen sind: »Der Anfang ist gemacht.«

Häuser aus Pilz auf Mond und Mars?

Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurden aus dem Wurzelwerk der Pilze bereits Ziegelsteine hergestellt, die nicht nur deutlich leichter sind als die Klassiker aus Lehm oder Kalksandstein, sondern auch deutlich haltbarer. Die Weltraumbehörde NASA forscht daran, inwiefern Häuser aus Pilzmaterial bei einer künftigen Besiedelung von Mond und Mars von Nutzen sein könnten. Denn Pilzsporen nehmen kaum Platz beim Transport durchs All ein, könnten aber am Zielort durch Wasser wieder zum Leben erweckt werden und beispielsweise um ein Gerüst herum wachsen. Auf Erden hat das US-amerikanische Start-up Ecovative bereits ein komplettes Häuschen aus Trockenpilz-Platten hergestellt: Das »Tiny Mushroom House« ist wasserdicht, brandsicher, frei von Chemikalien und vollständig kompostierbar. Schlumpfhäuser für Menschen, quasi.

Auch innerhalb von Fraunhofer forschen mehrere Institute aus unterschiedlichen Richtungen an Innovationen in diesem Bereich. In einem Fraunhofer-internen Kooperationsprojekt fand bereits eine Vernetzung dieser Institute statt. Gemeinsam möchte man das Thema nun vorantreiben. Sich vernetzen und dadurch weiterwachsen: Auch diese Erfolgsstrategie kann man von Pilzen lernen. ■



Pilze gibt es auf der Erde seit mehr als **800 Millionen Jahren**.

Würde man alle in den obersten zehn Zentimetern der Erde enthaltenen Pilzfäden aneinanderreihen, würde die Länge dem **halben Durchmesser unserer Galaxis** entsprechen.

Penicillin und viele andere **Antibiotika** sind Stoffwechselprodukte von Pilzen.

Mehr Pilze als Ameisen: Nach Pflanzen und Bakterien bilden Pilze die **drittgrößte Biomasse** auf der Erde.

Ein Fall für den Quantencomputer?

Wie lässt sich künftig die Versorgungssicherheit in einem verflochtenen Energiesystem mit Millionen von Einflussgrößen gewährleisten? Dieser Frage gehen Fraunhofer-Forschende mithilfe von Quantencomputern nach.

Von Mandy Bartel

Aktuell sind laut Bundesnetzagentur 219 536 Kraftwerke im deutschen Stromnetz: große Kohle-, Gas- und Atomkraftwerke genauso wie kleinere Wind- und Solaranlagen. Sie alle haben unterschiedliche Betriebseigenschaften, viele sind nicht beliebig auf Knopfdruck an- und abschaltbar oder müssen eine gewisse Zeit laufen. Wenn so viele so verschiedene Einzelerzeuger ihren Strom zu unterschiedlichen Zeiten ins Netz einspeisen, die Sonne scheint, aber der Wind nicht weht, Gas ausbleibt und aus unterschiedlichen Quellen kompensiert werden muss – dann wird es schnell unübersichtlich.

Auf der anderen Seite steht eine nur ungefähr planbare Nachfrage. Sie zeitgenau abzubilden, ist kaum möglich. Und dennoch muss sie kosteneffizient zu jeder Zeit gedeckt werden. Nicht zu vergessen, dass in Stromleitungen stets eine gewisse Mindestspannung aufrechterhalten werden muss. Kurz: Der deutsche Energiemarkt ist maximal komplex. Um darin Angebot und Nachfrage zu möglichst geringen Kosten und stundengenau auszutarieren, müsste man viele Millionen einzelner Parameter und Variablen berücksichtigen. Das Zusammenspiel dieser Faktoren wird in einem sogenannten Fundamentalmodell abgebildet. Dies zu berechnen ist jedoch vor allem wegen des zunehmenden Anteils der so unvorhersehbaren wie volatilen erneuerbaren Energien zu einer riesigen Herausforderung geworden.

Da heute selbst die leistungsfähigsten Superrechner nicht das gesamte Energienetz simulieren könnten, werden Energieerzeuger in einzelnen Einheiten oder Regionen geclustert. Diese Cluster werden separat betrachtet und

bei Bedarf auf einer höheren Ebene miteinander korreliert. Zusammen mit Prognosemodellen zu Lastkurven und dem Wetterbericht lassen sich so Strombedarf und -angebot bis zu einem gewissen Grad vorhersagen. Für Pascal Halffmann vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM ist da noch viel Luft nach oben: »Durch die ständig zunehmende Komplexität des Systems hat selbst eine geringfügig bessere Berechnung dieses Fundamentalmodells ein riesiges Potenzial für Kosteneinsparungen«, ist er überzeugt. Deshalb erforschen er und sein Team zusammen mit Partnern im Projekt EnerQuant, wie Quantencomputer helfen könnten, das Energiemodell zu optimieren.

Unsicherheiten im Energiemodell besser abbilden

Warum Quantencomputer? »Wir haben hier ein klassisches Optimierungsproblem zu lösen«, erklärt der Mathematiker. »Unsere Hoffnung ist, dass es die Überlagerung von Zuständen in der sogenannten Superposition der Qubits, also den Informationseinheiten von Quantenrechnern, erlaubt, verschiedene Parameter des Fundamentalmodells gleichzeitig zu berechnen. Dadurch könnten wir womöglich diese riesigen Lösungsräume sehr viel schneller nach dem Optimum durchsuchen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Quantensysteme per se stochastisch, also auf Wahrscheinlichkeiten ausgelegt sind und somit eventuell besser die Unsicherheiten im Energiemodell abbilden können als bisherige Systeme.«

Dazu testen Halffmann und seine Kolleginnen und Kollegen ein vereinfachtes Fun-



Super-Rechner sollen den Energiefluss optimieren.

»Das Benchmarking verschiedener Quantenrechner, aber auch der Vergleich zu klassischen Computern, ist neben der Modellierung ein wichtiges Ziel in unserem Projekt.«

Pascal Halffmann,
Fraunhofer-Institut für
Techno- und Wirtschafts-
mathematik ITWM



Die Forschenden vom Fraunhofer IOSB-AST beleuchten im Projekt EnerQuant noch einen weiteren Use Case: Sie entwickeln ein Modell, wie die E-Fahrzeugflotte eines kleineren Flughafens unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren mit möglichst viel selbst erzeugtem Sonnenstrom geladen werden kann.

Mehr dazu im Podcast:



damentalmodell auf gleich mehreren Systemen. Neben einem IBM Quantum System One mit 27 Qubits, der Fraunhofer und Partnern im baden-württembergischen Ehningen exklusiv zur Verfügung steht, und weiteren IBM-Systemen in den USA führen sie ihre Berechnungen auf einem sogenannten Quantum Annealer aus, der zwar mit 5000 weitaus mehr Qubits hat, sich aber nur für ganz bestimmte Optimierungsaufgaben eignet. In Kürze soll zudem ein von der Universität Heidelberg entwickelter Quantensimulator auf Basis von ultrakalten Atomen hinzukommen, der mit sogenannten Qudits rechnet.

Vom Qubit zum Qudit

Im Vergleich zu Qubits, die alle Zustände zwischen 0 und 1 annehmen können, kann ein Qudit etwa die Werte 0, 1, 2, 3, 4 und mehr sowie alle Überlagerungen dazwischen abbilden. So lassen sich mehr Daten mit weniger Informationseinheiten verarbeiten. »Das Benchmarking verschiedener Quantenrechner, aber auch der Vergleich zu klassischen Computern, ist neben der Modellierung ein wichtiges Ziel in unserem Projekt«, betont Halffmann.

Der Haken an der Arbeit mit Quantencomputern ist momentan noch, dass heutige Sys-

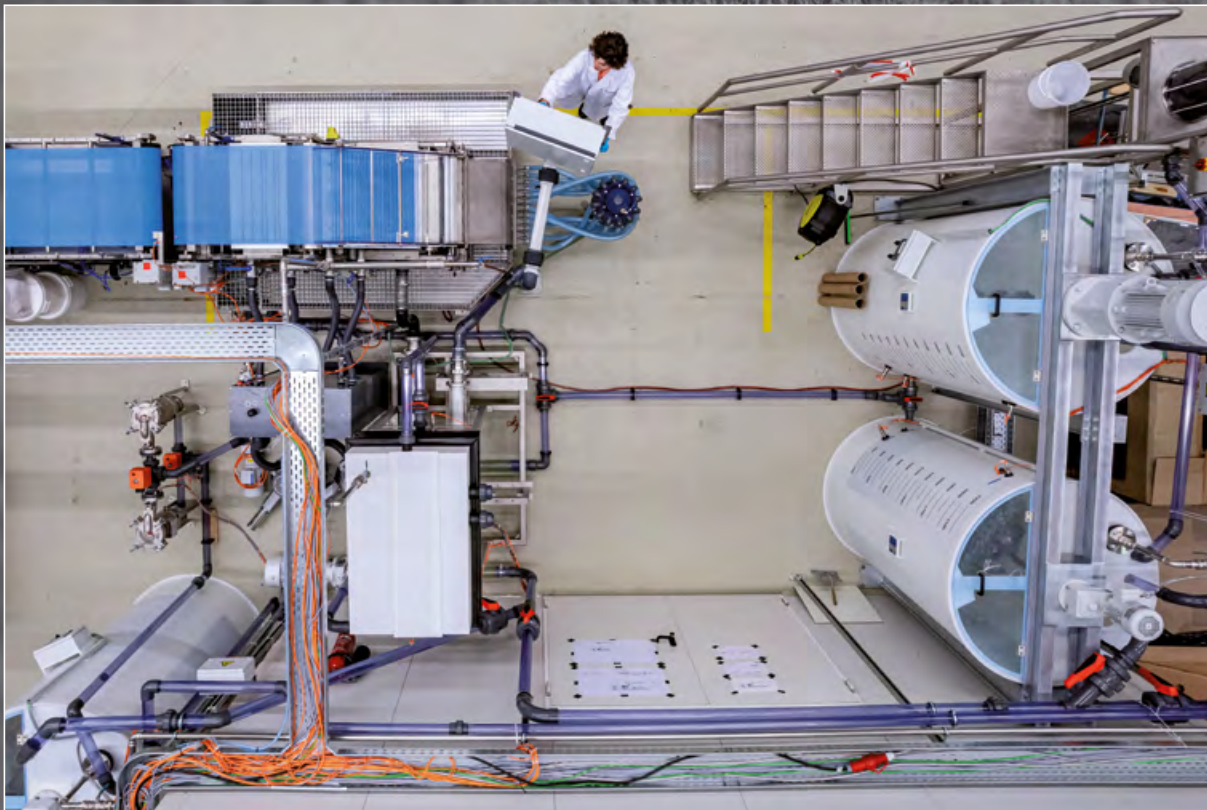
teme schlichtweg nicht so viele Qubits mit einem so hohen Vernetzungsgrad bieten, wie man sie für die Abbildung komplexer Modelle bräuchte. Also musste das Forscherteam umdenken und formulierte das Modell von vornherein mathematisch so um, dass möglichst wenig Qubits und Vernetzung untereinander nötig sind. »Das funktionierte so gut, dass wir die Übertragung unseres virtuellen Modells auf die physischen Qubits signifikant verbessern konnten«, freut sich der Mathematiker. Damit ist eine Grundlage für weitere Forschungsschritte gelegt. Bis zur praktischen Anwendung sind davon noch viele zu gehen – und wie bei kaum einem anderen Thema sind dabei gute Weggefährten wichtig, wie die EnerQuant-Partner wissen: Während sich das Fraunhofer ITWM zusammen mit dem Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST des Schwesterinstituts Fraunhofer IOSB um die Modellierung kümmert, steuert die Universität Heidelberg den Prototypen des Quantensimulators bei. Das Start-up JoS QUANTUM GmbH entwickelt die Algorithmik weiter und stellt die Software-Plattform, in die die gemeinsamen Ergebnisse einfließen. So stehen sie nach Projektende auch der Industrie zur Verfügung und leisten dann hoffentlich ihren Beitrag zur zukünftigen Versorgungssicherheit in Deutschland. ■

Aktuell sind laut
Bundesnetzagentur
219 536
Kraftwerke
im deutschen
Stromnetz.

Carbonfaserrecycling trifft auf Papierschöpfen

Mit einer Technologie aus der Papierherstellung verhilft das Fraunhofer IGCV bislang nicht verwertbaren Recycling-Carbonfasern zu einem neuen Leben.

Von Claire Stark



Flauschig wirken sie, grau sind sie: Carbonfasern als Vlies, produziert in einer Anlage wie aus der Papierherstellung.

Carbonfaserverstärkte Komponenten finden sich überall, wo stabile und gleichzeitig leichte Materialien gefragt sind, im Verkehrsbereich, bei Windkraftanlagen oder Sportgeräten. Was aber passiert mit diesen Bauteilen, wenn sie am Ende ihres Lebenszyklus angekommen sind? Bislang: meist nichts. Das will das Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV ändern und setzt dafür die Nassvlies-technologie ein. Wie Zellulosefasern, so können mithilfe des Verfahrens auch Carbonfasern in Wasser vereinzelt, ausgerichtet und dann entwässert werden. Dadurch entstehen Vliesstoff-Rollwaren, die beispielsweise im Automotive-Bereich wiederverwendet werden können.

Die Materialien, die wir als »Carbon« kennen, sind Verbundwerkstoffe: Carbonfasern eingebettet in einer Kunststoffmatrix. Dafür gab es bisher kaum Recyclingmöglichkeiten. »Wir haben dieses Jahr eine weltweite Carbonfaser-Kapazität von 170 000 Tonnen. Davon wird nur etwa ein Zwanzigstel recycelt«, sagt Michael Sauer vom Fraunhofer IGCV. Zwar existieren thermische und chemische Verfahren, um die Carbonfasern aus der Kunststoffmatrix zurückzugewinnen. Doch ein Großteil dieser Carbonfasern ist zu kurz, um in den etablierten Verarbeitungsmethoden verwertet werden zu können. Beim Nassvliesverfahren jedoch gilt: Je kürzer die Fasern, desto unproblematischer – und somit lässt sich der bislang nicht nutzbare Anteil der recycelten Carbonfasern als Rohstoff erschließen. Das hilft auch dabei, den CO₂-Fußabdruck des Materials zu senken. »Weil man so viel Energie in die Faserherstellung gesteckt hat, ergibt es Sinn, diese wertvolle Faser wiederzuverwenden«, erklärt Violetta Schumm vom Fraunhofer IGCV. Die Prozesse in der Nassvliesanlage ähneln der einer Papierherstellungsanlage. Der entscheidende Unterschied: nicht Papierfasern sondern recycelte Carbonfasern werden verarbeitet.

Materialwissenschaftler Sauer und Textilwissenschaftlerin Schumm betreiben inzwischen die einzige Papiermaschine innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.

Beim Bau dieser Maschine konnten die beiden zwar auf viel vorhandenes Know-how aus der Papierindustrie zurückgreifen, mussten aber wegen der recycelten Carbonfasern auch spezifische Probleme lösen. »Das ist einfach ein »Abfall« mit verschiedenen Faserlängen, mit Verunreinigungen, die Fasern sind oft Bündel und können nur schwer dispergiert werden«, beschreibt Sauer die Herausforderung. Um auch mit

»Wir haben dieses Jahr eine weltweite Carbonfaser-Kapazität von **170 000** Tonnen. Davon wird nur etwa ein Zwanzigstel recycelt.«

Michael Sauer, Fraunhofer IGCV

schwierigem Ausgangsmaterial homogene Vliese herstellen zu können, wurde die Nassvliesanlage des Fraunhofer IGCV besonders flexibel und robust ausgelegt. So kann sie eine große Bandbreite an Faserlängen verarbeiten und auch mit einer großen Faserlängenverteilung innerhalb einer Charge umgehen. Um zu verhindern, dass die elektrisch leitfähigen Carbonfasern zu Kurzschlüssen führen, ist die Maschine komplett gekapselt.

Die Vliesstoffe aus recycelten Carbonfasern, die auf der Nassvliesanlage produziert werden, können in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden. Sogar Strukturbauteile wie beispielsweise Motorhauben oder Unterböden lassen sich mit einem Komposit aus den recycelten Carbonfasern und einer Kunststoffmatrix formen. »Unsere Produkte übertreffen jedes neue glasfaserverstärkte Bauteil. Obwohl das so kurze Carbonfasern sind, sind es eben immer noch Carbonfasern«, erklärt Sauer.

Ein Vorzug ist die genaue Einstellbarkeit des Vlieses. So können nicht nur Dicke und Dichte des Materials festgelegt werden, sondern auch die elektrische Leitfähigkeit. Letzteres geschieht über die Orientierung der Fasern, die in der Längsrichtung viel besser leiten als quer zur Faserachse. So ist von sich stark überkreuzenden, also isotropen Vliesstoffen bis hin zu nahezu parallelen Fasern theoretisch eine stufenlose Einstellung der Leitfähigkeit des Endmaterials möglich. Hier liegt die aktuelle Herausforderung darin, die Ausrichtung der Fasern in der Praxis exakt umzusetzen.

Ein langfristiges Ziel der Anlagentechnik ist es nicht nur, Vliese aus jenen Abfällen herzustellen, mit denen bisher niemand umgehen konnte. Ein weiterer Schwerpunkt liegt darauf, Produkte mit sehr niedrigem Bindergehalt zu entwickeln. Dadurch bleiben die Materialien fließfähig und können leichter in normale Produktionsprozesse integriert werden, um bisherige Werkstoffe zu ersetzen.

Im Vergleich zu einer klassischen Papiermaschine ist die Anlage des Fraunhofer IGCV mit ihrer Breite von 61 Zentimetern und einer Prozessgeschwindigkeit von maximal 30 Metern pro Minute relativ klein. Das erlaubt den Forscherinnen und Forschern, auch geringe Mengen an Musterfasern zu verarbeiten. »Das Schöne an der Anlage ist, dass ein Industriekunde mit seinem neuen Fasermaterial zu uns kommen kann und wir innerhalb eines Tages die Prozessierbarkeit testen können«, sagt Schumm. Obwohl der Fokus der Anlagentechnik auf der Verarbeitung von Carbonfasern liegt, kann die Maschine grundsätzlich mit jedem Fasermaterial umgehen. Neben recycelten Carbonfasern haben Schumm und Sauer auch schon Zellulose oder verschiedene Polymerfasern verarbeitet. Während der Corona-Pandemie wurde die Papiermaschine des Fraunhofer IGCV zur Herstellung von FFP2-Masken eingesetzt. ■

Hier geht's zum Podcast:





EUROPA

Mehr Patientensicherheit dank KI

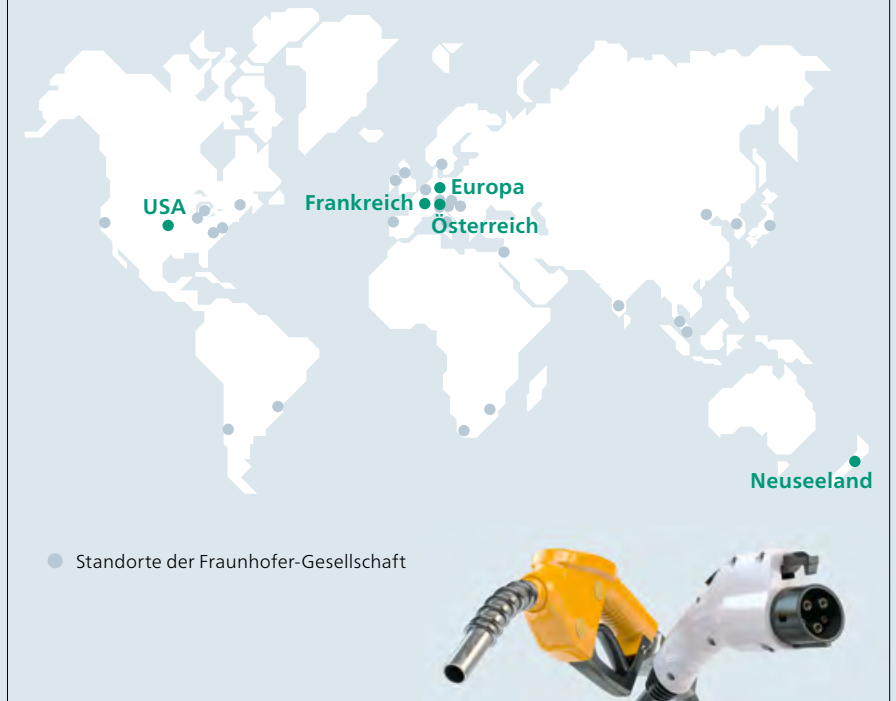
Elf europäische Partner arbeiten im Projekt SafePolyMed daran, die Sicherheit von medikamentösen Behandlungen zu erhöhen. Mit dabei ist ein Team des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik IBMT, das eine Arzneimittel-Managementplattform entwickelt, die das individuelle Risiko von unerwünschten Nebenwirkungen ermitteln soll. Dabei werden sowohl Wechselwirkungen mit anderen verabreichten Medikamenten als auch mit den Genen berücksichtigt. Die Forschenden nutzen Künstliche Intelligenz (KI), um genomische Informationen, demografische Daten, aktuelle und chronische Gesundheitszustände sowie medikamentenbezogene Details zu analysieren. Das ermöglicht individuelle Dosisempfehlungen oder die Gabe alternativer Wirkstoffe.

Etwa 197 000 Todesfälle pro Jahr sind allein in Europa auf unerwünschte Arzneimittelwirkungen zurückzuführen. Liegen zwei oder mehr Langzeiterkrankungen vor, müssen entsprechend viele Medikamente regelmäßig eingenommen werden. Zusammen mit der individuellen genetischen Disposition beeinflusst dies stark die Wirksamkeit von Arzneien und erhöht Häufigkeit und Schweregrad von Nebenwirkungen.



In Deutschland nehmen etwa 42 Prozent der über 65-Jährigen regelmäßig fünf oder mehr rezeptpflichtige Arzneimittel ein.

Fraunhofer international



Plug-in-Hybride fahren wesentlich häufiger mit Sprit als mit Strom.

USA

Mogelpackung: Spritfressende Plug-in-Hybride

Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen von Plug-in-Hybridfahrzeugen (PHEV) sind um ein Vielfaches höher als offiziell angegeben – bei neueren Modellen sogar noch deutlicher. Das ergab eine Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI und der US-Forschungsorganisation International Council on Clean Transportation (ICCT) zur realen Nutzung von PHEV in Europa.

Laut offiziellen Testverfahren verbrauchen PHEV im Durchschnitt rund 1,7 Liter Sprit je 100 Kilometer. Real liegen diese Werte bei privat genutzten Plug-in-Hybriden jedoch dreimal, bei Dienstwagen sogar fünfmal so hoch.

Im ersten Halbjahr 2022 entfielen rund neun Prozent aller Pkw-Neuzulassungen in Europa auf PHEV – etwa 400 000 Fahrzeuge. Ausgestattet mit einem Verbrenner sowie einem Elektroantrieb ist ihr Beitrag zur Emissionsminderung stark abhängig vom realen Nutzungsverhalten.

So fahren private PHEV durchschnittlich höchstens zur Hälfte elektrisch, Dienstwagen sogar nur bis zu 15 Prozent. Trotzdem wird ihr Kauf weiterhin staatlich gefördert.

Die EU-Kommission hat nun reagiert und Vorschläge aus der Fraunhofer ISI- und ICCT-Studie in ihren neuen Regulierungsentwurf übernommen. Damit werden PHEV ab 2025 sehr viel realistischer beurteilt, was mittelfristig das Ende der Plug-in-Hybride bedeuten könnte.



ÖSTERREICH Smarter Holztransport

Warentransporte bündeln und über ein intelligentes Netzwerk effizient und nachhaltig ans Ziel bringen wollen die Forschenden der Fraunhofer Austria Research GmbH. Dafür entwickelten sie im Pilotprojekt »Smarte Holzlogistik« kollaborativ nutzbare Transportgebäude. Diese Spezialcontainer sind intermodal, also auf Straßen, Schienen oder Wasserwegen einsetzbar. Verschiedene Sensoren und GPS machen das Gebinde smart, die eingebaute Wiegetechnik verhindert ein Überladen und erleichtert das Umschlagen.

Die Container können sowohl Baumstämme als auch andere Holzprodukte wie Hackschnitzel transportieren, was hilft, Leerfahrten zu vermeiden. Füllung und Transport des Gebindes werden über einen Marktplatz

und eine offene IT-Plattform gesteuert, die nach ökologischen Aspekten und Kosten den optimalen intermodalen Transportweg vorschlägt – vom Wald bis zum verarbeitenden Betrieb. Die smarte Holzlogistik macht es möglich, etwa 30 000 der derzeit 100 000 Tonnen Transportvolumen in einer Beispielregion von der Straße auf die Bahn zu verlagern.



Die Lkw-Fahrten zu den Umschlagpunkten konnten mithilfe der innovativen Container stark reduziert werden.



Welche Maßnahmen sind sinnvoll? Eine digitale Plattform hilft bei der Entscheidungsfindung.



FRANKREICH Epidemien wirkungsvoll bekämpfen

Aus der Corona-Pandemie lernen will das deutsch-französische Projekt AIO-LOS. Die Forscherinnen und Forscher entwickeln eine digitale Plattform, die frühzeitig neue, von Atemwegserregern ausgelöste Epidemien erkennt, deren Ausbreitung überwacht und durch die Simulation verschiedener Interventionsmöglichkeiten länderübergreifende Entscheidungen zu geeigneten Maßnahmen unterstützt.

Die Fraunhofer-Institute für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP und für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI leiten zusammen mit dem französischen Pharmakonzern Sanofi das Projekt, dem weitere Industriepartner angehören. Die multidimensionale Plattform soll Echtzeitdaten sehr unterschiedlicher Quellen integrieren, vorrangig aus dem Gesundheitswesen, aber auch aus Text- und Medienanalysen, demographischen und Mobilitätsdaten, sogar Abwasseranalysen. Modelle basierend auf Künstlicher Intelligenz entwickeln daraus plausible Epidemieszenarien, die ein Dashboard visualisiert. Die Erkenntnisse sollen privaten und öffentlichen Interessengruppen helfen, wissenschaftliche, wirtschaftliche und politische Vorkehrungen zu treffen und wirksame Gegenmaßnahmen einzuleiten.



NEUSEELAND Grünen Wasserstoff industriell nutzbar machen



An einem ressourcenschonenden und kostengünstigen Verfahren der Wasserelektrolyse arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, der Uni Bayreuth und dreier neuseeländischer Universitäten im Projekt HighHy. Dafür entwickelt das Projektteam hochaktive Katalysatoren für die AEM-Elektrolyse, die

Neue Katalysatoren machen die Wasserelektrolyse nachhaltiger und effizienter.

einen raschen und zuverlässigen Ablauf der Sauerstoff-Entwicklungsreaktion gewährleisten. Entscheidend ist, dass diese Katalysatoren keine seltenen Edelmetalle wie Iridium enthalten, sondern Nickel und Mangan – zwei gut verfügbare und kostengünstige Metalle. Die Forscherinnen und Forscher wollen die junge Technologie der AEM-Elektrolyse, die das Potenzial bislang gängiger Verfahren vereint, schnell zur Marktreife bringen und industriell nutzbar machen. Grüner Wasserstoff durch Elektrolyse aus regenerativem Strom ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende.

Tierisch gute Flugpatrouille zum Schutz der Savanne

Künstliche Intelligenz im Rucksack: Eine neue Generation Miniatursender soll den Schutz von Geiern und anderen Wildtieren verbessern. Das Frühwarnsystem könnte auch für die Industrie interessant sein.

Von Dr. Katja Engel



Königsgeier Conchita vom Tierpark Berlin fliegt jetzt im Dienst der Forschung.

Es ist Conchitas Jungferflugh mit Rucksack. Im Sturzflug saust sie im Tierpark Berlin dicht über eine Besuchergruppe. Umgeschnallt auf Rücken und Brust trägt die Königsgeierdame einen Tiersensor mit Kamera, die Luftaufnahmen macht. Bald soll eine zusätzlich eingebaute Künstliche Intelligenz (KI) die Aufnahmen auch auswerten und das Ergebnis als kurze Textnachricht in Echtzeit an einen Satelliten senden. Kombiniert mit GPS-Daten könnte so eine Botschaft von frei fliegenden Geiern aus der Savanne dann beispielsweise lauten: »Viele tote Zebras auf dem Boden, bitte dringend prüfen.«

Geier sind oft die Ersten, die verendete Tiere entdecken. Sie fressen das Aas und stoppen so die Verbreitung von Wildtierkrankheiten, bevor sie von toten auf lebendige Tiere übergehen können. Im Ökosystem der Savanne agieren Geier damit als eine Art Gesundheitspolizei. Sie zeigen aber auch Veränderungen an: Sind in einem sonst trockenen Gebiet plötzlich wieder Wasser und Tiere vorhanden? Oder sind umgekehrt die Wildbestände eingebrochen und die Geier fliegen ein Gebiet gar nicht mehr an? Ist eine Tierseuche ausgebrochen, erkennbar an vielen Kadavern auf kleiner Fläche?

Bislang ist die Forschung hier auf die händische Auswertung weniger Daten angewiesen. Zwar gibt es schon besenderte Tiere, doch die aktuell eingesetzten Sender – auch Tags genannt – speichern nur die GPS- und Beschleunigungsdaten. Zudem werden die Messdaten erst dann an die Forschenden übermittelt, wenn ein Vogel zufällig ein Gebiet mit Mobilfunkempfang überfliegt.

Eine neue Minisender-Generation soll jetzt der Geierforschung und dem Schutz ihres Ökosystems eine deutlich bessere Datengrundlage geben. Im Verbundprojekt GAIA-Sat-IoT entwickeln Forschende vom Fraunhofer-

Institut für Integrierte Schaltungen IIS zusammen mit dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) seit Anfang 2022 ein innovatives Tiersender-System, das deutlich mehr Sensoren enthält und frühzeitig Umweltveränderungen anzeigen kann. Ein Teil ist auf dem Rücken der Geier angebracht und nimmt unter anderem Positions- und Beschleunigungsdaten auf. Das andere Modul verfügt über die Kamera und sitzt daher vorne auf der Brust. Beide Teile arbeiten eng zusammen.

Nina Holzer leitet das Projekt GAIA-Sat-IoT im Verbundvorhaben »Künstliche Intelligenz und IoT Technologie mit Satellitenkommunikation im Artenschutz und

der Wildtierforschung« am Fraunhofer IIS. Die Gruppenleiterin für Multimodal Human Sensing hält es für entscheidend, »dass eine KI die Daten direkt auf dem Sensor verarbeitet. So ist keine Cloud mehr nötig. Es ist somit ein echtes Frühwarnsystem, mit dem ökologische Krisenherde wie Krankheitsausbrüche, Vergiftungen oder andere Veränderungen im Ökosystem sofort erkannt werden können.«

Jürgen Ernst, Chefingenieur am Fraunhofer IIS, hat den Test-Tag für den Jungferflugh im Berliner Tierpark entwickelt. Conchitas Flug hat gezeigt, dass der neue Tag nicht nur passt, sondern dass

auch die Kamera für den Landeanflug am Vogelkörper richtig positioniert ist, um eines Tages nicht nur eine Flugshow von oben möglichst aussagekräftig zu fotografieren, sondern auch Tierkadaver in der Savanne. Lediglich die Verschlusszeiten der Kameralinse muss Ernst noch an die Geschwindigkeit eines Geiers im Sturzflug anpassen. Außerdem interessiert den Forscher, wie viele zusätzliche Sensoren noch in den kleinen Tag hineinpassen könnten. Dieser darf nicht schwerer als 100 Gramm sein, denn das Tierwohl steht natürlich im Vordergrund. Mit einer neuartigen Sensorik soll außerdem – unabhängig vom ▶



»Es ist ein echtes Frühwarnsystem, mit dem ökologische Krisenherde wie Krankheitsausbrüche, Vergiftungen oder andere Veränderungen im Ökosystem sofort erkannt werden können.«

Nina Holzer, Fraunhofer IIS



Die Kunst, viel Technologie auf wenig Platz zu verbauen: Der Tiersensor darf nicht mehr als 100 Gramm wiegen.

Der Minisender mit Kamera wird so am Geier befestigt, dass dieser möglichst nicht in seinem natürlichen Verhalten gestört wird.



Foto – erkannt werden, ob der Geier gerade von einem toten Elefanten hüpft oder von einem Zebra.

Damit der Tag möglichst wenig Energie verbraucht und der Akku lange hält, wollen die Fraunhofer-Forscher die Rechenoperationen auf dem Chip auf ein Minimum reduzieren, ohne dessen Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen. Außerdem soll die KI lernen, das Verhalten der Geier zu dekodieren und zu klassifizieren, damit die Kamera nicht wahllos alles fotografiert, sondern die richtigen Knips-Momente findet. Der Biologe Wanja Rast vom Leibniz-IZW trainiert die künftige Geier-KI. Dafür vergleicht er die Daten von besenderten Geiern mit ihren Bewegungen. So lernt die KI, ob die Vögel gerade miteinander raufen, ihr Gefieder putzen oder sich auf einem Rastplatz ausruhen. Oder ob sie gerade im Sturzflug auf Aas sind und jetzt ein Foto angesagt wäre.

Noch müssen die Expertinnen und Experten auf Daten warten, bis der Geier ein Mobilfunknetz erreicht hat. Florian Leschka, Gruppenleiter System Design am Fraunhofer IIS, will das mit einer nahezu ständig verfügbaren und effizienten Kommunikation des Tags zu einem Satelliten

ändern. Im Teilprojekt »Entwicklung von Kamera-Tags mit sensornaher KI für Sat-IoT-Kommunikation« entwickelt er ein leistungsfähiges Satelliten-IoT-Funkmodul, das zusätzlich zu den Sensoren noch in den Tag passt. Damit die Nachricht »Hier ein totes Tier« fehlerfrei ankommt, entstehen in Kooperation mit dem Start-up Rapid Cubes passende Satelliten. Geplant sind bis zu sieben Stück, die ein kleines Netzwerk bilden, wenn sie im Low Orbit – also in rund 400 bis 600 Kilometern Höhe – um die Erde kreisen. Doch nicht nur Geier in der Savanne können von einer IoT-Satelliten-Kommunikation profitieren, sagt Leschka. Diese Art Kommunikation kann sich ebenfalls bei der Arktisforschung als nützlich erweisen oder bei der Umweltüberwachung von Meeresbojen. Auch hier erstellt eine eingebaute KI kleine Informationspakete, die per Satellit sofort empfangen werden können. »Es werden keine großen Rohdaten mehr übertragen, sondern nur die extrahierten Daten der KI – und das selbst in Gebieten ohne Mobilfunknetz«, so Leschka.

Die Gruppe von Nina Holzer arbeitet daran, den Rechenbedarf der KI auf dem Chip so klein und energieeffizient wie möglich zu machen. Felix Kreyß vom Fraunhofer IIS hingegen will mit seinem Team die verschiede-



Alles im Griff: Falkner Manuel Sembritzki vom Tierpark Berlin (links) und Dr. Jörg Melzheimer vom Leibniz-IZW.

Nachjustieren am Laptop: Chefingenieur Jürgen Ernst (links) vom Fraunhofer IIS verfeinert die Einstellungen am Tag des Geiers.




»Wir entwickeln eine Technologie, die die Internet-of-Things-Kommunikation auch in der Industrie pushen kann.«

Florian Leschka, Fraunhofer IIS

nen Rechenoperationen der KI-Algorithmen auf mehrere Tags verteilen. Er leitet das Teilprojekt SyNaKI – Synergie natürlicher und Künstlicher Intelligenz im Schwarm. Kommen mehrere besenderte Geier zusammen, kann die KI verteilt auf den einzelnen Tags arbeiten. So wird die gesamte Rechenleistung der Tags genutzt und der KI-Algorithmus muss die Vorhersagegenauigkeit nicht einschränken. Das SyNaKI-Konzept sieht vor, ad hoc ein Netzwerk aufzubauen, sobald sich Geier etwa an einem Kadaver versammeln. Anschließend werden den einzelnen Tags dynamisch Aufgaben zugewiesen.

Felix Kreyß denkt bereits über Anwendungen der Technologie bei anderen Tieren nach. Sobald mehrere Artgenossen zusammenkommen, ergeben verteilte Rollen auf verschiedenen Sendern einen Sinn. »Das Gesundheitsmonitoring von Weidetieren kann beispielsweise davon profitieren, dass die KI auffälliges Verhalten oder anstehende Geburten frühzeitig erkennt«, so Kreyß.

Geier seien zwar öffentlichkeitswirksame Promoter dieser neuen sparsamen KI, doch Florian Leschka sieht auch andere Anwendungsfelder: »Wir entwickeln hier eine Technologie, die die Internet-of-Things-Kommunikation und die Nutzung von sensornaher Künstlicher Intelligenz auch in der Industrie pushen kann.« Der Vorteil einer Datenauswertung in Echtzeit am Sensor und ohne Cloud könnte wertschöpfende Anwendungsfelder eröffnen – beispielsweise in der Logistik, bei der Lawinenwarnung, beim Gesundheitsmonitoring mit schätzenswerten Patientendaten, die nicht in einer Cloud bearbeitet werden sollen, in der Landwirtschaft zur optimalen Bodenbewässerung oder bei der Verkehrssteuerung. ■



Nicht nur auf den Straßen wird es enger – auch im Auto selbst gibt es durch immer mehr Technik ein Platzproblem. Forschende der Fraunhofer-Gesellschaft wollen Sensoren nun im Scheinwerfer unterbringen.

Foto & Fraunhofer

Ins Licht rücken

Schon jetzt besitzen Autos eine Menge autonomer Fähigkeiten: Der Tempomat hält den korrekten Abstand zum Vordermann und der Spurhalteassistent zur Leitplanke. Der Aufmerksamkeits-Assistent mahnt rechtzeitig eine Kaffeepause an, der Park-Assistent hilft in die Lücke. Und wird es doch mal knapp, kann das Auto sogar eine Notbremsung durchführen. All diese Features werden ermöglicht durch eine Vielzahl von Kameras und Sensoren, die an unterschiedlichen Stellen im Fahrzeug platziert sind.

Damit Autos eines Tages ganz ohne Menschen hinterm Lenkrad sicher durch den Straßenverkehr navigieren, müssen jedoch noch deutlich mehr Sensoren die Augen und Ohren des Fahrers ersetzen. Als Schlüsseltechnologie gelten hochauflösende LiDAR-Sensoren (»Light Detection and Ranging«), die über Laser blitzschnell eine hochpräzise, dreidimensionale Umgebungskarte erstellen können.

Doch wohin mit den vielen Hightech-Detektoren im Auto? Forschende der Fraunhofer-Gesellschaft – insgesamt sind fünf Fraunhofer-Institute beteiligt – haben eine smarte Lösung für das Platzproblem gefunden: »Wir integrieren Radar- und LiDAR-Sensoren in die Scheinwerfer, die ja sowieso vorhanden sind und die ein Optimum an Transmission für optische Sensoren und Lichtquellen sowie für Verschmutzungsfreiheit garantieren«, sagt Tim Freialdenhoven vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR. »Wir arbeiten zudem daran, die Daten von Radar und LiDAR zu fusionieren, was insbesondere in puncto Zuverlässigkeit einen extremen Mehrwert bietet.« Aktuell baut das Team vom Projekt »Smart Headlight« einen Prototyp, ein Patent wurde bereits angemeldet.

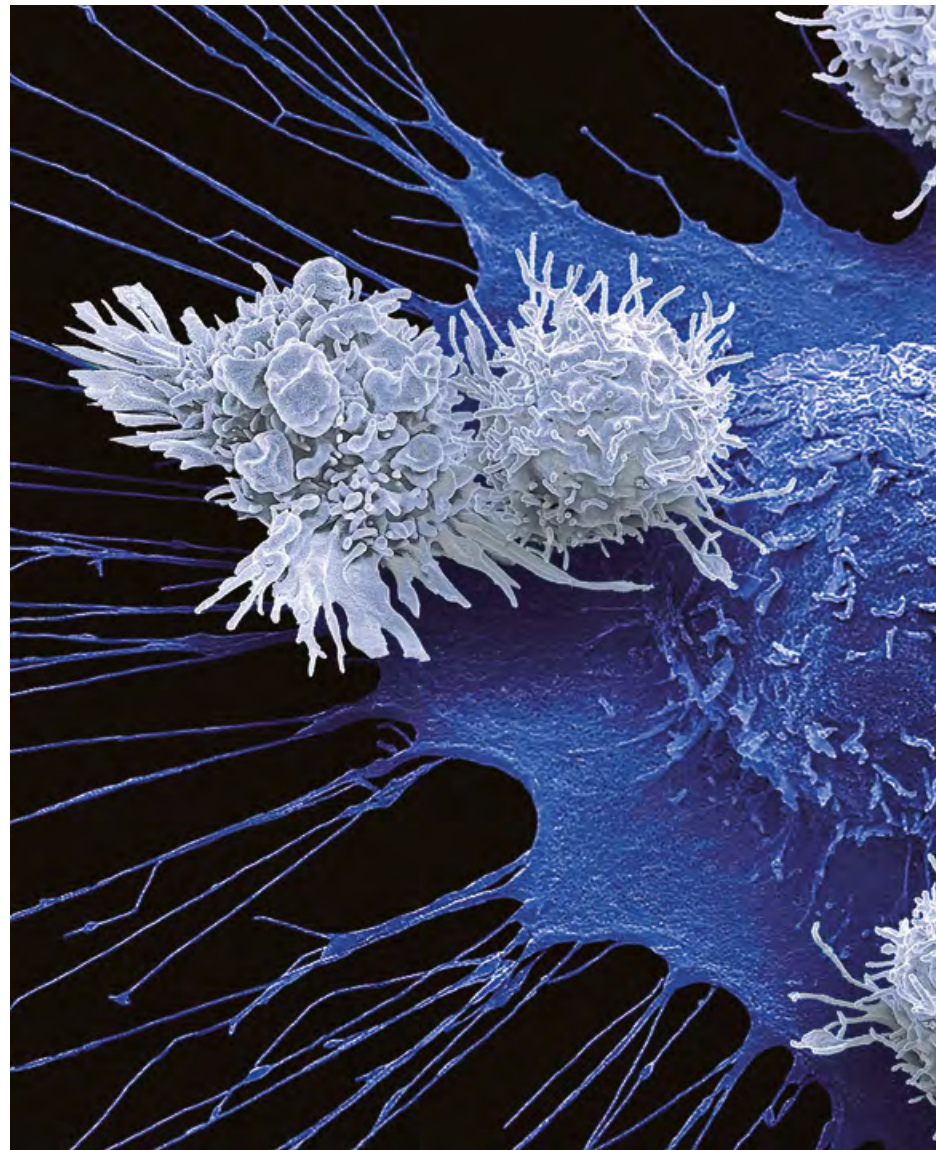
Brust- krebszellen im Blut aufspüren

Effizienter, schonender, schneller:
Eine neue Form der Biopsie erlaubt
erstmalig eine Brustkrebs-Diagnose
innerhalb weniger Stunden.

Von Dr. Janine van Ackeren

Sobald es um Lebenszeit geht, zählt jeder Tag, zählt jede Stunde. Umso quälender ist es für Frauen, wenn sie bei Verdacht auf Brustkrebs gleich mehrere Tage bangen müssen, bis eine Gewebeprobe des potenziellen Tumors im Labor untersucht wurde. Geht das nicht auch schneller? Eine Brustkrebs-Diagnose (fast) in Echtzeit hat sich die Arbeitsgruppe »Nanozelluläre Wechselwirkungen« am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP im Projekt LIBIMEDOTS als Ziel gesetzt. Und mit der Flüssigbiopsie (Liquid Biopsy) eine nichtinvasive Diagnosealternative entwickelt, die eine besonders schnelle und zugleich schonende Früherkennung von Brustkarzinomen ermöglicht.

»Wir weisen den Brustkrebs über Tumorzellen nach, die im Blut zirkulieren«, erläutert die Chemikerin und Medizinerin Dr. Neus Feliu Torres, die seit Juli 2020 die Arbeitsgruppe am Fraunhofer IAP leitet. Denn sobald sich ein Krebsgeschwür im Körper – etwa in der Brust – entwickelt, gelangen immer auch ein paar Tumorzellen in den Blutkreislauf. Die Forschenden des Fraunhofer IAP, die für dieses Projekt mit der spanischen Universität Rovira



Auf Wachstum programmiert:
Brustkrebszelle
inmitten weißer
Blutzellen.

i Virgili, der Universität Hamburg und dem Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf kooperieren, suchen den Tumor also nicht direkt in einer Gewebeprobe, sondern im Blut.

Der vermeintliche Umweg birgt gleich mehrere Vorteile. Denn je früher ein Tumor erkannt wird, desto höher die Heilungschancen. Die optimierte Früherkennung sowie die erweiterten Therapiemöglichkeiten spiegeln sich in der Statistik wider: Seit Ende der 1990er-Jahre nimmt die Sterberate bei Brustkrebs kontinuierlich ab. Laut Angaben des Zentrums für Krebsregisterdaten leben im Schnitt fünf Jahre nach der Diagnose von hundert Betroffenen noch 79, nach zehn Jahren noch 67 Frauen.



Statistisch erkrankt **eine von acht Frauen** im Laufe ihres Lebens an Brustkrebs.

Gewissheit nach nur einem Piks

Während die Gewebeentnahme eine minimalinvasive Operation ist und damit nicht nur mit Schmerzen, sondern auch mit gewissen Risiken verbunden sein kann, ist für die neue Methode gerade mal ein Nadelstich nötig: Der Patientin wird lediglich ein wenig Blut abgenommen. Und auch während der Behandlung soll die neue Technologie Vorteile schaffen. So lässt sich mit ihr schnell und einfach überprüfen, ob eine begonnene Therapie Erfolge zeigt. In diesem Fall sinkt die Zahl der Tumorzellen, die mit dem Blut durch die Adern strömen und die im Test nachgewiesen werden. Schlägt die Therapie hingegen nicht wie erhofft

an, können die behandelnden Ärzte umschwenken auf eine andere Behandlung, ohne wertvolle Zeit zu verlieren.

Die Flüssigbiopsie an sich ist kein neues Verfahren, auch wenn sie noch nicht zu den Standardinstrumenten der Krebsdiagnostik zählt. Zur Brustkrebserkennung wurde das Verfahren bislang noch gar nicht eingesetzt. Schuld daran sind vor allem zwei Knackpunkte: »Im Vergleich zu anderen Körperzellen liegen die Tumorzellen im Blut nur in einem Faktor von eins zu einer Million vor«, erklärt Feliu Torres. »Sie sind also äußerst schwer zu detektieren.« Deshalb hat das Forschungsteam um die gebürtige Katalanin spezielle magnetische Nanopartikel entwickelt, mit denen die Tumorzellen angereichert werden können. Sobald die Krebszellen diese Partikel aufnehmen, können sie durch ein Magnetfeld quasi eingesammelt und dann aufkonzentriert werden.

Das Wissen, dass irgendwo im Körper ein Tumor vorliegt, hilft den behandelnden Medizinern allerdings nur begrenzt weiter. Sie müssen im nächsten Schritt ermitteln, wo genau sich das Karzinom befindet. Dafür werden fluoreszierende Partikel spezifisch an die Oberfläche der im Blut aufgespürten Tumorzellen gebunden. Leuchtet eines davon auf, wissen die Forscherinnen und Forscher, dass es sich um eine Zelle aus einem Brusttumor handelt. Die Partikel leuchten dabei so hell, dass bereits sehr wenige Tumorzellen für einen Nachweis ausreichen.

Bei bisherigen Liquid-Biopsy-Verfahren binden die magnetischen Nanopartikel an der Oberfläche der Krebszellen. Dort jedoch wird es eng, schließlich müssen sowohl die Magnet-Teilchen als auch die fluoreszierenden Partikel Platz finden, um das ganze Potenzial der Zelltypisierung auszuschöpfen. »Wir entwickeln magnetische Nanopartikel, die von den Krebszellen aufgenommen werden. Somit können wir erstmals die gesamte Oberfläche nutzen, um die Tumorzellen zu charakterisieren«, erklärt Feliu Torres. Und dazu reicht keineswegs eine einzige Art fluoreszierender Partikel, schließlich können die im Blut zirkulierenden Tumorzellen von Patientin zu Patientin variieren. Das Team nutzt daher bis zu 18 verschiedene spezifisch bindende Partikel, um den Krebszellen auf die Spur zu kommen.

Mit der neuen Variante der Flüssigbiopsie könnte die Detektion von Brusttumoren schon bald empfindlicher und spezifischer werden. Und – verglichen mit dem Verfahren der klassischen Gewebebiopsie – auch effizienter, kostengünstiger und vor allem schneller. Was für die Patientinnen letztendlich bedeuten könnte: mehr Lebenszeit. ■

»Tumorzellen im Blut sind äußerst schwer zu detektieren.«

Dr. Neus Feliu Torres,
Fraunhofer IAP

Resiliente Netze und wehrhafte Systeme

Tausende Kilometer ziehen sich die Versorgungsnetze für Gas durch Europa. Das EU-Projekt SecureGas verbessert die Sicherheit.

Von Mehmet Toprak



Lecks in Ostsee-Pipelines im September 2022 haben gezeigt, wie verletzlich Gasnetze sind.

Allein das Erdgasnetz erstreckt sich 140 000 Kilometer durch Europa – 140 000 Kilometer kritische Infrastruktur, die nicht lückenlos vor Sabotage und Angriffen zu schützen ist. Deshalb ist das Ziel, die Netze so zu planen, dass die Folgen von Angriffen oder technischen Defekten leichter zu beherrschen sind und das Gasnetz möglichst schnell zur alten Leistungsfähigkeit zurückkehren kann. Resilienz ist das Stichwort. Mit einer neu entwickelten Software ist das Fraunhofer-Institut für Kurzdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI in Freiburg in der Lage, die wahrscheinlichen Auswirkungen von Defekten oder Störfällen aller Art im Gasnetz zu simulieren – bevor diese eintreten. Gasnetze sind hochkomplexe Systeme, zusammengesetzt aus Rohrleitungen, Druckreglern, Verbindungselementen, Ventilen und Verdichterstationen. Letztere kommen im deutschen Fernleitungsnetz etwa alle 100 bis 200 Kilometer zum Einsatz und bewirken, dass der Druck in der Leitung stetig hoch bleibt, um einen möglichst hohen Energiedurchsatz bei geringen Reibungsverlusten zu erzielen.

Die Software berechnet beispielsweise, wie sich die Gasdruckverteilung im Netz durch den Ausfall einer Pipeline infolge einer Schädigung ändert, und damit, um

wie viel Prozent die Lieferleistung für die einzelnen Gasverbraucher zurückgehen würde. Zehntausende unterschiedliche Fälle kann die Software so simulieren. »Jedes Szenario beinhaltet dabei mindestens eine ausgefallene Komponente. Wird der gleichzeitige Ausfall mehrerer Komponenten betrachtet, so wird schnell eine große Anzahl von denkbaren Szenarien erreicht«, erklärt Projektleiter Jörg Finger. »Auf diese Weise können wir vorab abschätzen, welche Defekte am Gasnetz besonders schwerwiegende und welche weniger schwerwiegende Folgen auf die Leistung hätten.« Daraus wiederum lassen sich Rückschlüsse ziehen, wie das Gas umgeleitet werden kann oder welche Komponente in welcher Priorisierung repariert werden sollte.

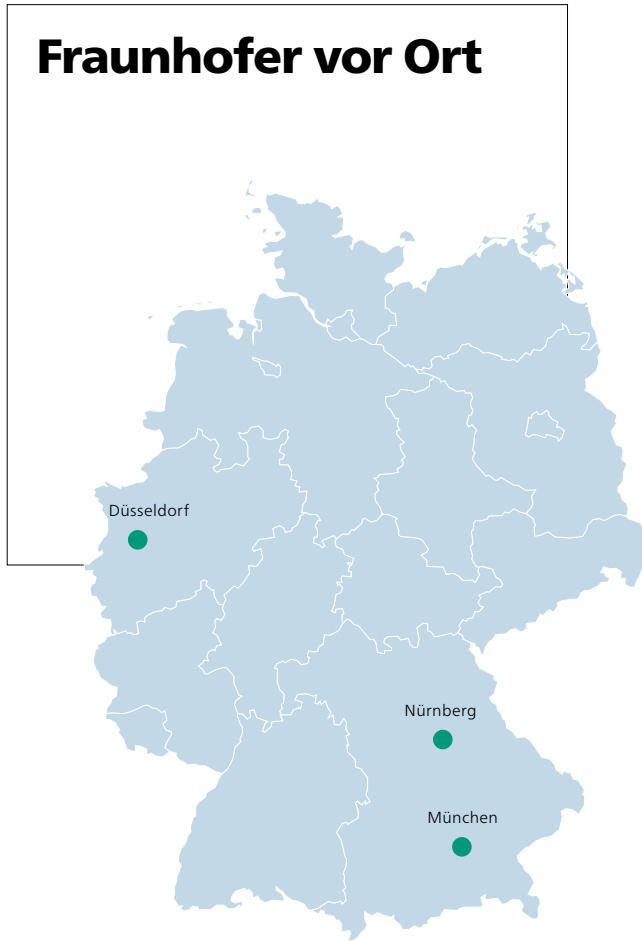
Wo drohen die größten Schäden – und was ist zu tun?

Die Basisdaten für die Berechnungen kommen von den Netzbetreibern. Dazu gehören Informationen über Länge und Durchmesser der Rohrleitungen sowie Kennwerte und Leistungsmerkmale zahlreicher weiterer Komponenten. Schließlich sind Betriebs- und Randbedingungen wie beispielsweise Einspeise- und Gasentnahmeraten erforderlich, für

welche Messwerte zur Verfügung stehen. »Unser Projekt-Beitrag als Fraunhofer EMI besteht darin, die Punkte des Netzes zu identifizieren, deren Ausfall die größten Schäden nach sich zieht. Die Antwort auf die Frage, welche konkreten Maßnahmen daraus abzuleiten sind – zum Beispiel das Schaffen von Redundanzen, die Verstärkung von Schutzmaßnahmen etc. – erfordern hingegen die Expertise der Netzbetreiber«, sagt Dr. Sebastian Ganter, der im Projekt SecureGas neben Leitungsaufgaben für die Entwicklung der Software verantwortlich war. »Wir unterstützen in der präventiven Phase, insbesondere bei der Planung der Erweiterung des Gasnetzes.« Die Simulations-Software hilft bereits bei der Planung und Konstruktion eines Netzes, indem sie alle denkbaren Störungen, Ausfälle und damit auch cyberphysische Attacken durchspielt.

Die Forschungsarbeit des Fraunhofer EMI ist Teil des EU-Projekts SecureGas und wurde im Rahmen des europäischen Forschungs- und Innovationsprogramms »Horizon 2020« gefördert. Ziel des 2019 gestarteten Vorhabens ist es, ein risikobasiertes Sicherheitsmanagement für die Gasnetze einzuführen und eine Referenzarchitektur für den Aufbau, den Betrieb und die Pflege resilienter europäischer Gasnetze zu entwerfen. ■

Fraunhofer vor Ort



🌐 **Düsseldorf**
14.–17.11.2022
Medica / Compamed
 Internationale Leitmessen
 für die Medizinbranche

🌐 **München**
15.–18.11.2022
electronica
 Weltleitmesse und
 Konferenz der Elektronik

🌐 **München**
23.11.2022
**Fraunhofer Investment
 Forum (hybrid)**
 Kapitalsuchende
 Hightech-Gründer
 treffen auf Investoren

🌐 **Nürnberg**
14.–16.03.2023
Embedded World
 Internationale Fachmesse
 und Konferenz für
 eingebettete Systeme

Stand: Oktober. Aufgrund der Pandemie
 kann es zu Änderungen kommen. Bitte beachten
 Sie die Informationen der Veranstalter.

Fraunhofer-Magazin

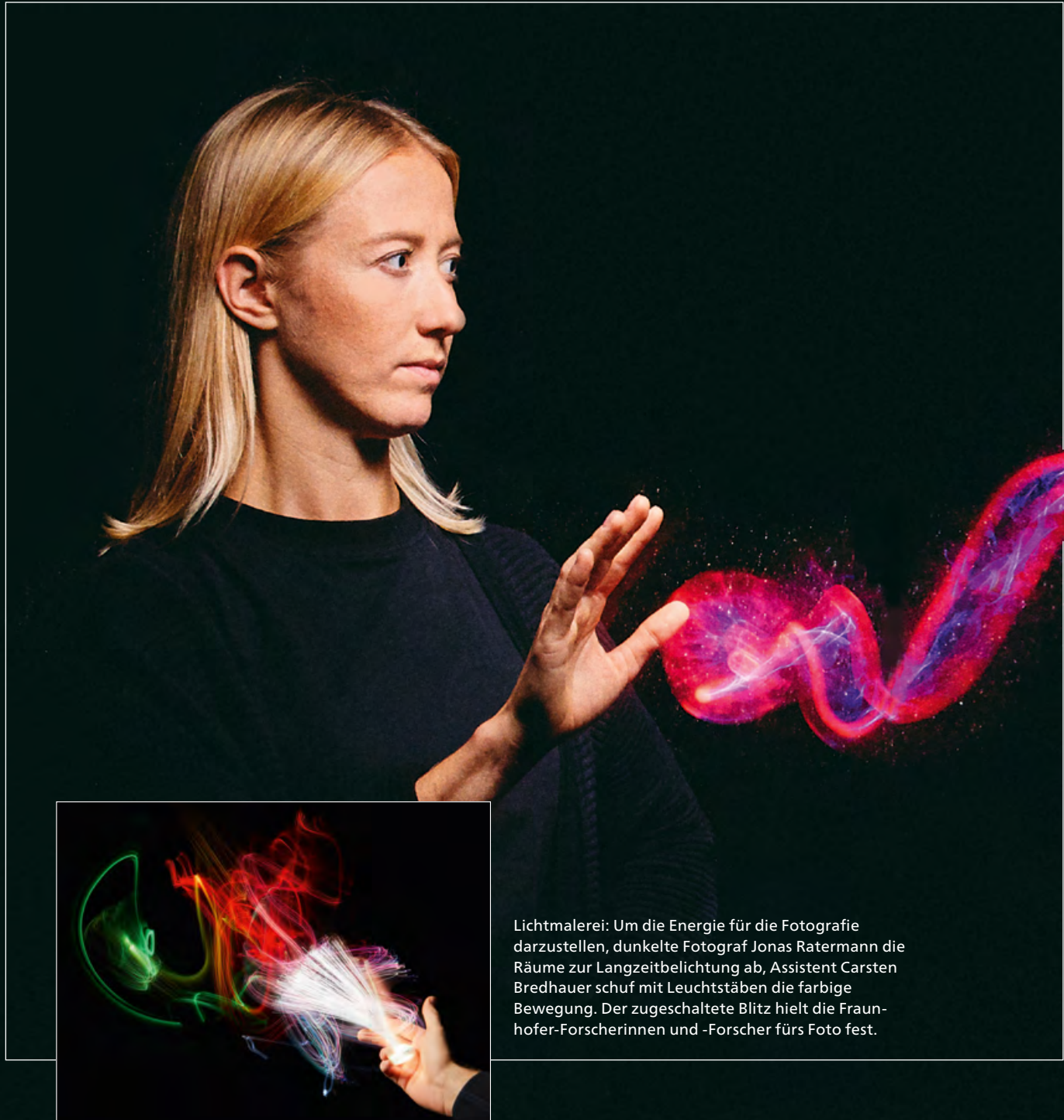
Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

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



»Wir haben bereits vor 13 Jahren 30 Pilotnetzwerke ins Leben gerufen. Über den regelmäßigen Peer-to-Peer-Austausch lernen die Betriebe, wo sie Energie sparen können.«

Lisa Neusel, Fraunhofer ISI



Lichtmalerei: Um die Energie für die Fotografie darzustellen, dunkelte Fotograf Jonas Ratermann die Räume zur Langzeitbelichtung ab, Assistent Carsten Bredhauer schuf mit Leuchtstäben die farbige Bewegung. Der zugeschaltete Blitz hielt die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher fürs Foto fest.