



Das ist kein Ei

Unsere Ernährung
ist im Umbruch.
Wie schmeckt
die Zukunft?

Verónica García-Arteaga,
Fraunhofer-Forscherin
und Gründerin

**Wie sicher sind unsere
Autobahnen?**
Brücken am Anschlag: Sensor-
system soll Mängel aufspüren

**»Veränderungen, die
83 Millionen betreffen.«**
Landwirtschaftsminister
Cem Özdemir im Interview



The Quantum Breakthrough

FUTURAS IN RES, Berlin

Save the new date:
Sept. 28 – 29, 2022

The second-generation quantum technologies have already resulted in an increasing number of practical applications and bear a high innovation potential for the years to come. Our invited international experts from research and industry

will present you the latest R&D advancements and applications in the visionary areas of Quantum Imaging & Optics, Quantum Communication, Quantum Sensing and Quantum Computing. Find out more: www.fraunhofer.de/fir2022

Editorial

Freiheit braucht Technologien

Der Morgen jenes Donnerstags, 24. Februar 2022, mag manchem die Augen in mehr als einer Hinsicht geöffnet haben. Es ist der Beginn des Angriffskriegs Russlands gegen die Ukraine. Plötzlich ist es spürbar, dass Frieden, Freiheit und Souveränität selbst in Europa keine Selbstverständlichkeiten sind.

Freiheit hat ihren Preis. Nach Angaben des Bundeswirtschaftsministeriums liegt der Anteil russischer Importe an den fossilen Gasimporten nach Deutschland bei rund 55 Prozent, bei Kohle bei rund 50 Prozent und bei Rohöleinfuhren bei rund 35 Prozent. Doch darf sich Freiheit nicht wirtschaftlichen Abhängigkeiten unterordnen. Sie ist unverzichtbarer Bestandteil unserer demokratischen Kultur und unseres anhaltenden Erfolgs. Der Preis der Freiheit wird bezahlbar sein. Zwar hat Deutschland im Jahr 2021 Waren und Dienstleistungen im Wert von 26 Milliarden Euro nach Russland exportiert. Allerdings summiert sich das nur auf 1,9 Prozent der Gesamtausfuhren. Umgekehrt ist für Russland die Bundesrepublik nach China der wichtigste Handelspartner.

Auf den Einmarsch russischer Truppen in die Ukraine hat die Fraunhofer-Gesellschaft im Schulterschluss mit dem Vorgehen weiterer Mitglieder der Allianz der Wissenschaftsorganisationen reagiert und entschieden, alle laufenden Projekte und Interaktionen mit Russland zunächst einzufrieren, später wurde dieser Beschluss auf Belarus ausgeweitet. Diese Zäsur ist zwingend. Sie ist ausdrücklich nicht gegen die russische Bevölkerung und nicht gegen die russische Wissenschaft gerichtet, auf deren Entwicklung wir mit Sorge blicken.

Ein Mehr an Souveränität ist seit vielen Jahren ein Anliegen der Fraunhofer-Gesellschaft: nicht nur mehr energetische Souveränität, sondern auch mehr technologische Souveränität und mehr digitale Souveränität – ein „immens wichtiges Thema“, wie Forschungsministerin Bettina Stark-Watzinger bei der Allianz der Wissenschaftsorganisationen bestätigt hat. Deshalb können wir die Entschlossenheit nur begrüßen, wie sie die Europäische Kommission gerade mit dem European



Prof. Reimund Neugebauer

Chips Act zeigt. Für die Produktion von Halbleitern in der EU sollen rund 43 Milliarden Euro zur Verfügung gestellt werden, damit im Jahr 2030 ein Fünftel der weltweit hergestellten Chips in Europa produziert werden kann. Dass der European Chips Act seine Vitalität so schnell in dieser Deutlichkeit zeigt und mit dem Intel-Halbleiter-Werk, wie Ministerpräsident Reiner Haseloff formuliert hat, »die größte Investition in der Geschichte« nach Magdeburg kommt, ist eine gute Nachricht – nicht nur für Sachsen-Anhalt, sondern für Deutschland und ganz Europa.

Freiheit braucht Zusammenarbeit. Freiheit braucht Verflechtung. Aber Freiheit braucht auch Resilienz und Unabhängigkeit in den zentralen Bereichen der Versorgung und Entwicklung. Es geht also auch um Freiheitstechnologien. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist entschlossen, ihren Beitrag zu leisten.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

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



Inhalt



10 Titel So schmeckt die Zukunft

Bei Verónica García-Arteaga, Jana Czerwinske und Dr. Siegfried Fürtauer und ihrer Fraunhofer-Ausgründung dreht sich alles ums vegane Ei.



20 »Gesünder, tiergerechter, nachhaltiger«

Im Interview spricht Landwirtschaftsminister Cem Özdemir über die Zukunft der Ernährung – und darüber, wie sich Genuss, Ökologie und Ökonomie verbinden lassen.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

10 So schmeckt die Zukunft
Gesünder essen? Fraunhofer bringt neue Produkte in die Praxis

20 »Was wir ändern müssen ...«
Im Interview: Landwirtschaftsminister Cem Özdemir

24 Stimmung? Saumäßig!
Wie KI die Schweinehaltung sicherer und schonender macht

26 Mit Moos viel los
Wunderstoff aus der Natur: Mit begrünten Hausfassaden können Städte lebenswerter werden



38 Erneuerbare Energien Winds of Change

Wie kostbar Energie ist, lässt das Jahr 2022 die Verbraucher spüren. Energie aus Wasserstoff ist gefragter denn je.

38 Grüner Wasserstoff
Wasserstoff ist der Hoffnungsträger, wenn Deutschland seine Klimaziele erreichen will. Doch noch wird viel zu wenig »grün« produziert. Gemeinsam arbeiten Fraunhofer-Institute im Projekt H₂Wind daran, Wasserstoff dort herzustellen, wo immer viel Wind herrscht: auf dem Meer. Die Herausforderungen, die Lösungen, die Entwicklungen

44 Stimme aus der Wirtschaft: Wasserstoff, das Allround-Talent
Kerstin Andreae ist Vorsitzende der Hauptgeschäftsführung des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft. Sie plädiert dafür, die 500 000 Kilometer vorhandener Gasinfrastruktur für den Wasserstoff zu nutzen

46 Wasserstoff aus der Biotonne
4,6 Millionen Tonnen Bioabfall sammelten die Deutschen 2021 allein in ihren braunen Tonnen. Dazu kommen Klärschlamm und Lebensmittelabfälle aus Gastronomie und Industrie. Das Fraunhofer IPA will daraus Wasserstoff gewinnen

28 Glück ist, wenn der Bass gleichzeitig einsetzt

In der Pandemie wird ein virtuelles Konzert auf die Spitze getrieben

30 Spinnengift für die Medizin

Bislang sind die Toxine der Achtbeiner weitgehend unerforscht

32 Viren, die heilen

Kampf gegen Krebs: Wie ausgerechnet Herpesviren zum Hoffnungsträger der Tumor-Therapie werden

34 80 000 Umdrehungen für die Energiewende

Gesteigerte Erfolgsquote: Eine neu entwickelte Mikro-Turbine hilft, zuverlässiger Thermalwasser zu finden

35 Staffellauf des Wissens IV

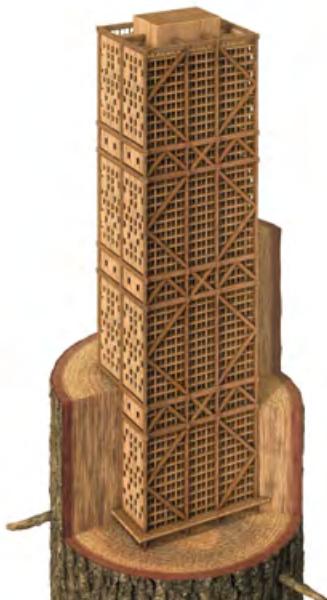
Welche Ressourcenstrategie benötigt die globale Energiewende?

48 Zucker fürs Auge

Tropfen sind schnell ausgewaschen. Neuartige Kontaktlinsen geben Medikamente langsam ab – und präzise

76 Holzhybrid statt Stahlbeton

Der nachwachsende Rohstoff holt auf – auch in Sachen Stabilität. Und er bietet ganz neue Möglichkeiten.



60 Ausgezeichnete Forschung

Hugo-Geiger-Preise für außergewöhnliche Promotionsleistungen junger Forscherinnen und Forscher.

50 Kohlehafen als Keimzelle für Klimaneutralität

Wie Duisburg den weltgrößten Binnenhafen zum ersten klimaneutralen Containerterminal Europas machen will

52 Brücken am Anschlag

Deutschlands Autobahnbrücken sind in einem schlechten Zustand. Das Fraunhofer IZFP entwickelt Sensorik für permanentes Monitoring

56 Von der Braunkohle zur Blockchain

Das dezentrale Datensystem schafft einen neuen Innovationsstandort

58 Im Eiltempo Leben retten

Elf Millionen erkranken jährlich an einer Sepsis. Das Fraunhofer IGB hilft im Wettlauf mit der Zeit

60 Hugo-Geiger-Preise

Exzellente Forschung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

66 Röntgen mit höchster Brillanz

BM18 Beamline – Detailschärfe und außergewöhnliche Vielseitigkeit

68 Fraunhofer international



66 Röntgen mit höchster Brillanz

BM18 Beamline – weltweit einmalig in Detailschärfe und Vielseitigkeit.

70 Algen prêt à porter:

Mode aus dem Bioreaktor

Die Textilindustrie sucht nach Alternativen – und findet sie in Mikroalgen

72 Mit Künstlicher Intelligenz gegen Hautkrebs

Wie ein KI-basierter Ganzkörper-scanner die Behandlung erleichtert

74 Foto & Fraunhofer

Deutsche lieben ihren Kaffee – künftig aus nachhaltigen Bechern

76 Holzhybrid statt Stahlbeton

Ganz neue Möglichkeiten – auch bei der Stabilität

78 Zukunft Quanteninternet

Immer mehr Daten immer sicherer transportieren? Ein Quantenfrequenzkonverter weist zur Zukunft

79 Fraunhofer vor Ort

91 Prozent aller landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland mit mehr als 100 Hektar nutzten im Jahr 2020 Smart-Farming-Technologien wie GPS-gesteuerte Landmaschinen, ermittelte der Digitalverband Bitkom. Bei den Betrieben mit mindestens 50 Hektar waren es immerhin noch 71 Prozent, bei den kleineren 64.

91%

Kurz gemeldet



»SusLight_works« passt sich an individuelle Licht-Bedürfnisse an.

Wohlfühlen mit Licht

Gesundheit, Motivation, Leistungsfähigkeit – alles auch eine Frage der Beleuchtung. Damit Mitarbeitende im richtigen Licht sitzen, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF zusammen mit Partnern aus der Industrie eine intelligente und nachhaltige Arbeitsplatzbeleuchtung entwickelt.

Die »SusLight_works« spart Energie und durch ihre Langlebigkeit auch Rohstoffe und Produktionskosten. Die innovative LED-Beleuchtung erreicht eine Lichtausbeute von bis zu 210 Lumen je Watt. Als dynamische Lichtquelle bietet sie Funktionalitäten wie verlustfreies Dimmen, variable Farbtemperaturen und adaptive Lichtfelder. Damit diese Vorteile voll genutzt werden können, haben die Forschenden einen Licht-Sensor integriert, der dem menschlichen Auge nachgebildet ist und die Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke des vorhandenen Umgebungslichts konstant überwacht.

»SusLight_works« hat das Potenzial, die Mitarbeitenden hinsichtlich Ergonomie und Biorhythmus zu unterstützen, indem sie Licht bedarfsgerecht in unterschiedlicher Helligkeit und Farbtemperatur erzeugt«, erklärt Dr. Michael Kunzer, Projektkoordinator am Fraunhofer IAF. ■

Häuser, die sich selbst versorgen

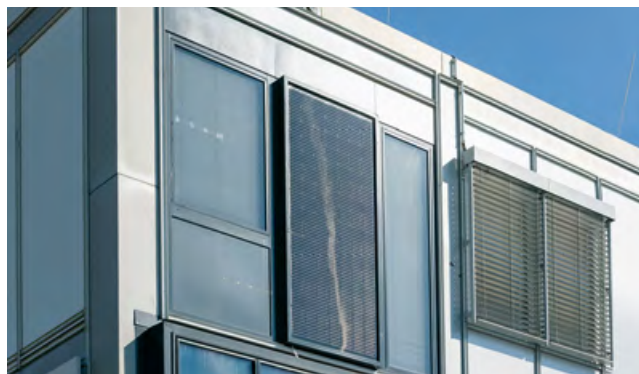
Gebäude, die sich umweltfreundlich mit Strom versorgen, heizen, kühlen und lüften? Eine innovative Modulfassade, entwickelt von Forschenden an den Fraunhofer-Instituten für Bauphysik IBP und für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, macht's möglich. Mit dem System lassen sich bestehende Fassaden leicht sanieren, aber auch Neubauten nachhaltig und energieeffizient ausstatten.

Herzstück des Moduls ist eine Photovoltaik-Anlage, die mit einer Wärmepumpe als hocheffizientem Wärme- und Kälteerzeuger kombiniert ist, sowie ein dezentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Alle erforderlichen Bauteile sind in dem Modul-Fassadenelement untergebracht.

Projektleiter Jan Kaiser vom Fraunhofer IEE erklärt: »Wir renovieren nicht das komplette Gebäude, sondern nur die Fassade. Die alte Fassade wird künftig durch industriell vorgefertigte Module mit integrierter Anlagentechnik ersetzt, was sie multifunktional macht und an die neuen Ener-

giestandards anpasst.« Da sich die Module vorfertigen lassen, können sie von der Stange produziert werden. Der Austausch erfolgt in nur wenigen Stunden – die neuartigen, geschosshohen Module werden vor der Gebäudestruktur einfach eingehängt. ■

Jedes geschosshohe Modul kann einen rund 24 m² großen Raum versorgen.



Immun-Check für die Lunge

Macht die manuelle Zählung der verschiedenen Zelltypen unter dem Mikroskop überflüssig: die Chipzytometrie.



Forscher des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM ist es gelungen, für klinische Studien Immunzellen der Lunge nicht nur präzise zu charakterisieren, sondern auch länger verfügbar zu machen. Mithilfe des innovativen Verfahrens der Chipzytometrie lassen sich die wertvollen Patientenproben über Monate im Kühlschrank lagern und auf weitere Parameter untersuchen – falls im Verlauf der Studie neue Aspekte relevant werden.

Bei der Chipzytometrie werden die Patientenproben in einem speziellen Objektträger untersucht. Dieser Chip besteht aus einer durchsichtigen

Kammer, auf deren Boden sich die Zellen anheften. Dann erfolgt die Färbung mit fluoreszierenden Antikörpern, die ganz spezifisch an einen bestimmten Typ von Immunzellen binden. Die Auswertung der mikroskopischen Bilder erfolgt weitgehend automatisch. Als Ergebnis erhält man die Anteile der gesuchten Immunzellen in der Probe.

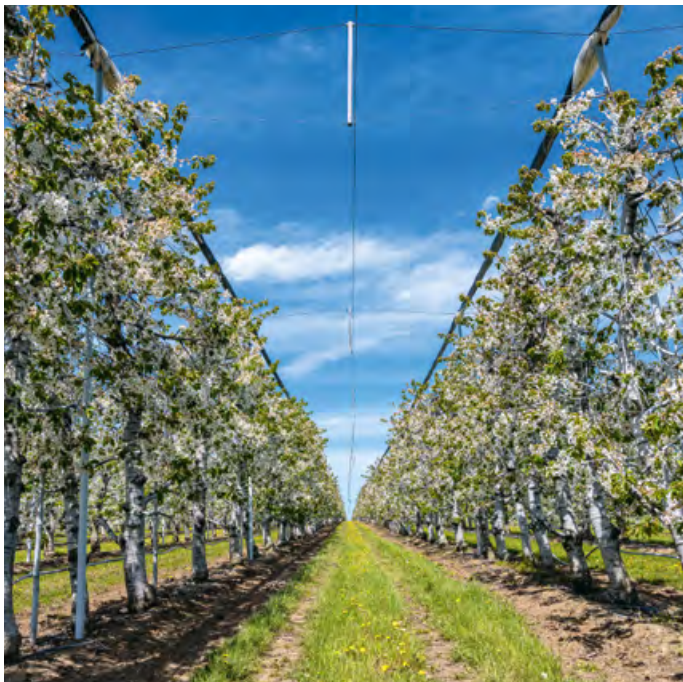
Entwickelt und an Blutzellen validiert hat die Chipzytometrie das Start-up »Zellkraftwerk«, das mittlerweile im US-Unternehmen Canopy Bioscience aufgegangen ist. Die Fraunhofer-Forscher haben das Verfahren nun erstmals für Immunzellen aus der Lunge adaptiert. ■

Kinder mit KI schützen



Die europäische Polizeibehörde Europol warnt vor einer deutlichen Zunahme von Cybergrooming seit Beginn der Pandemie.

Künstliche Intelligenz und Multimediaforensik können Kinder vor sexuellem Missbrauch im Internet schützen. Zu diesem Ergebnis kommt eine Machbarkeitsstudie des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT. Besonderer Schwerpunkt lag auf der praktischen Umsetzbarkeit. So lässt sich beispielsweise über textforensische Profiling-Technologien das Alter von Chat-Teilnehmenden einschätzen – und so Cybergrooming verhindern. Darunter versteht man die Kontaktaufnahme von Erwachsenen zu Minderjährigen in Chatrooms, Foren oder Online-Spielen mit dem Ziel, sie sexuell zu missbrauchen. Falls das angegebene Alter nicht mit dem Schreibstil des eigentlich erwachsenen Teilnehmenden zusammenpasst, könnte die Moderation des Forums benachrichtigt werden. Auch wenn sich bereits bekannte auffällig gewordene und geblockte Personen mit einem neuen Profil in Foren einloggen, können textforensische Methoden dies mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit erkennen. Die Studie ist frei verfügbar unter www.sit.fraunhofer.de/jugendschutz ■



Der ökologische Obstanbau will auf Herbizide verzichten. Das Robotersystem AMU-Bot macht's möglich.

Mobiler Unkraut-Killer

Ein neues Robotersystem entfernt Unkraut mechanisch, kostengünstig und umweltfreundlich – ohne Einsatz von Chemie. Die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und Partner aus der Industrie haben AMU-Bot zunächst für Baumschulen und Obstplantagen entwickelt. Das autonome Raupenfahrzeug fährt zwischen den Reihen an den Gehölzen entlang und entfernt das Unkraut mit Kreiselleggen. Die rotierenden Messer sind an einem höhenverstellbaren Manipulator befestigt, also dem beweglichen Teil des Roboters, der die mechanische Arbeit verrichtet. Auch das Unkraut in den Zwischenräumen der Bäume wird zuverlässig vernichtet. Am Ende der Baumreihe wendet das Raupenfahrzeug und fährt selbstständig in die nächste Reihe.

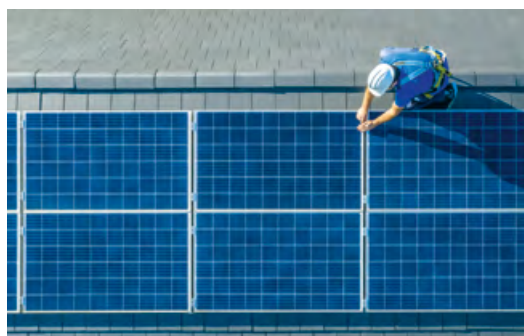
Zur Navigation setzt das Projektteam optische Sensoren ein. Die darin verbauten LiDAR-Scanner senden während der Fahrt kontinuierlich Laserimpulse aus, die von den Objekten in der Umgebung reflektiert werden. Aus den unterschiedlichen Laufzeiten berechnen sich die Entfernungen. So entsteht eine 3D-Punkte-Wolke der Umgebung. Das Robotersystem nutzt diese, um seinen Weg zu finden und die Position von Pflanzen oder Bäumen zu erkennen. ■

Solarzellen recyceln

Ein Verfahren, mit dem man das wertvolle Silizium aus alten Solarzellen zurückgewinnen kann, haben Forschende des Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP und des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit einem Partner aus der Industrie entwickelt. Möglich ist damit das Recycling sämtlicher kristalliner Silizium-PV-Module, unabhängig von Hersteller und Herkunft.

Für das Verfahren werden aus Nebenprodukten des bereits etablierten mechanischen Aufbereitungsprozesses die Solarzellenbruchstücke abgetrennt und gesammelt. Die Zellbruchstücke werden am Fraunhofer CSP im ersten Schritt durch verschiedene Sortierverfahren von Glas und Kunststoff befreit. Danach erfolgt durch nasschemisches Ätzen die schrittweise Entfernung des Rückseitenkontaktes, der Silberkontakte, der Antireflexschicht und letztendlich des Emitters. Aus dem derart gereinigten Silizium werden in Standardprozessen Wafer produziert.

Die Kristallisation erfolgt mit 100 Prozent Recycling-Silizium. Die Wafer wurden am Fraunhofer ISE zu PERC-Solarzellen verarbeitet, deren Zellwirkungsgrad im ersten Versuch bei 19,7 Prozent lag. »Das liegt unter dem Wirkungsgrad heutiger Premium-PERC-Solarzellen mit circa 22,2 Prozent, aber mit Sicherheit über dem der Solarzellen in den alten, ausgemusterten Modulen«, sagt Prof. Peter Dold, Projektleiter am Fraunhofer CSP. ■



Aktuell werden aus alten PV-Modulen nur Aluminium, Glas und Kupfer neu aufbereitet.

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Marina Babl,
Mandy Bartel, Markus Borgmann,
Christine Broll, Meike Grewe, Sirka
Henning, Dr. Monika Offenberger,
Laura Rottensteiner-Wick, Tim Schröder,
Beate Strobel, Mehmet Toprak,
Britta Widmann

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie
der Titelstrecke:**

Ragnar Schmuck

Fotograf Artikel Wasserstoff:

Christian Burkert

Druck:

hofmann infocom 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



Filternde Fische schwimmen mit geöffnetem Maul, um kleine Partikel aus dem Wasser aufzunehmen.

Was Fische mit Waschmaschinen gemeinsam haben

Fischkiemen dienen als Vorbild für neuartige Mikroplastikfilter in Waschmaschinen. Durch Abrieb lösen sich dort winzige Kunststoffpartikel aus Synthetikfasern – je Kilogramm Wäsche mehrere hundert Milligramm.

Prof. Alexander Blanke kann sich für Waschmaschinen begeistern – und für Fische. »Es gibt viele filternde Tiere«, sagt der Biologe vom Institut für Evolutionsbiologie und Ökologie der Universität Bonn, »aber der Apparat der Fische weist im Vergleich die höchste Ähnlichkeit zu den Verhältnissen in der Waschmaschine auf.« Prof. Blanke spricht von den Kiemenbögen und vom Nahrungstransport in den Verdauungstrakt. Zusammen mit Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und Partnern aus der Industrie arbeiten er und sein Team im Projekt FishFlow an innovativen Filtern, die den Faserabrieb in der Waschmaschine auffangen sollen – und so die Umwelt vor der Kunststoffbelastung schützen.

Dafür haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Kiemengeometrie verschiedener Fische vermessen. Aus diesen Daten erstellen sie Computermodelle der Kiemen, führen Simulationen durch und bauen sie am 3D-Drucker nach. So ermitteln sie, welche Filtergeometrien am effizientesten sind. Die bionischen Model-

le der Kiemenstrukturen werden dann im Strömungskanal und zuletzt in der Waschmaschine getestet.

Das interdisziplinäre Forschungsteam kommt aus der Biologie, den Materialwissenschaften und den Ingenieurwissenschaften. Da der Filter einen Beitrag zum Umweltschutz leisten soll, spielt auch die Nachhaltigkeit der Filterproduktion selbst eine wichtige Rolle: »Wir werden schon früh bei der Produktentwicklung eine Ökobilanz erstellen«, sagt Dr. Ilka Gehrke vom Fraunhofer UMSICHT.

Leandra Hamann, die im Team von Prof. Blanke promoviert, forscht schon seit Jahren zu Suspensionsfressern, also Lebewesen, die sich von im Wasser schwebenden Partikeln (Suspension) ernähren. Dabei handelt es sich um sehr verschiedene Organismen – von Schwämmen über Fische bis zu Flamingos mit unterschiedlichen Filterstrategien. Hamann fand über 35 verschiedene Filterfunktionsarten. Die Fische schnitten am vielversprechendsten ab. Ziel des Forschungsteams ist es jetzt, einen Filter zu entwickeln, der eine Rückhalteeffizienz von mehr als 90 Prozent aufweist. ■

Titel

Lecker backen ganz ohne Ei? Die Fraunhofer-Ausgründung »Bettr Egg« macht es möglich.



So schmeckt die Zukunft

Henne oder Ei – was war zuerst da? Die uralte Frage wird von der Wirklichkeit überholt. Jetzt gibt es das Ei ganz ohne Huhn. Und auch sonst ist unsere Ernährung im Umbruch.

Von Dr. Janine van Ackeren, Fotografie: Ragnar Schmuck

Appetitlich – und doch glutenfrei, frei von Cholesterin und Allergenen.



»Das Eigelb enthält Pflanzenproteine beispielsweise aus Erbse und/oder Ackerbohne, Süßkartoffel, hochwertige Omega-3-Fettsäuren und Calcium.«

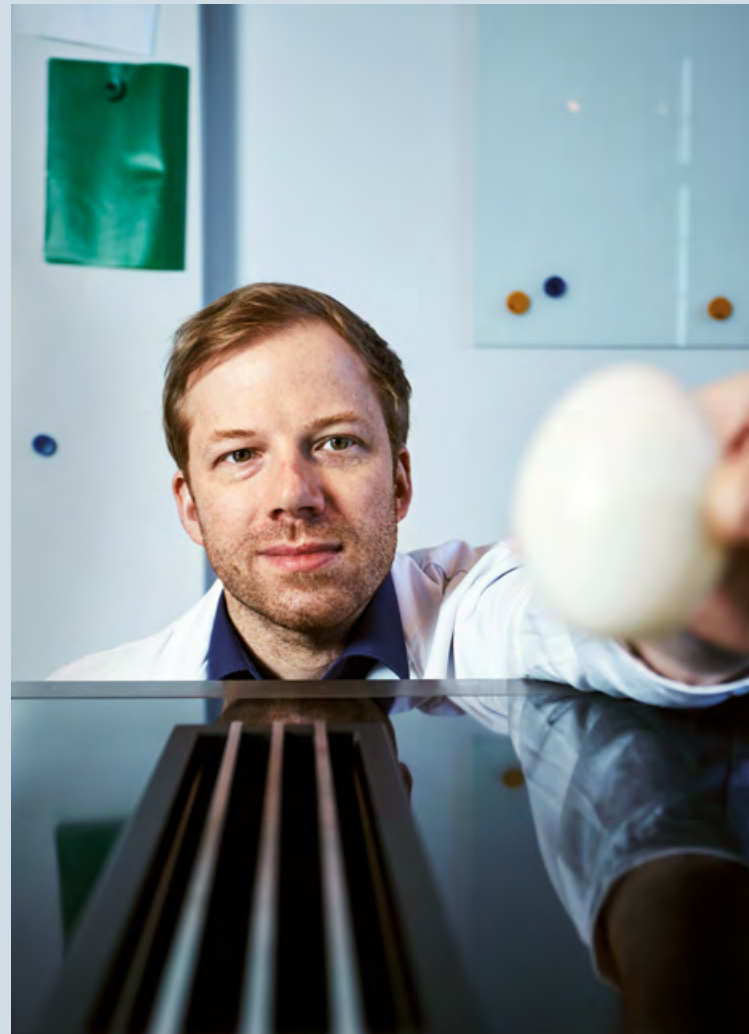
Verónica García-Arteaga

Überzeugend im Aussehen und beim Anschneiden.





Vielfalt ganz ohne Ei: 85 Prozent der Testesser konnten nicht unterscheiden, welche Speise auf veganem Ei oder Hühnerei basierte.



Dr. Siegfried Fürtauer hat für die Schale eine neue Generation von Bioplastik verwendet. Für die Zerbrechlichkeit sorgt beigemischtes Calciumcarbonat.

Erst ein komplexes Wechselspiel von Ionen und algenbasierten Hydrokolloiden lässt das flüssige Eigelb zum kugelförmigen Dotter mit Dotterhaut werden.

Wochenend-Frühstück ohne Ei? Für viele Menschen ein echter Verzicht – und das gerade zu Ostern. Dabei lehnen doch so viele Verbraucherinnen und Verbraucher Massentierhaltung ab und haben beste Vorsätze, weniger Tierprodukte verzehren zu wollen, schon aus Rücksicht aufs Klima. »Wie es jetzt ist, geht es nicht weiter«, sagt auch Landwirtschaftsminister Cem Özdemir im Fraunhofer-Interview (S. 20). Auswege sind also dringend gesucht – Lösungen, die Genießen und gutes Gewissen in Einklang bringen, echte Lösungen wie »Betr Egg«.

Es sieht aus wie Ei. Es schmeckt wie Ei. Aber: Es ist kein Ei. »Betr Egg« lässt sich nicht nur als Grundzutat für vegane Kuchen, Quiches und sonstige Eiergerichte nutzen, sondern ganz nach Belieben auch als weich oder hart gekochtes Frühstücksei, Spiegelei oder Rührei auf den Tisch bringen. Konkurrenz für diese Fraunhofer-Entwicklung gibt es nahezu keine: Auf dem einheimischen Markt findet man bislang lediglich vegane Ei-Pulver, die geschmacklich weit vom Hühnerei entfernt sind, in der Schweiz kam kürzlich ein veganes, hart gekochtes Ei auf den Markt. Ein flüssiges veganes Ei, das aus Eigelb, Eiklar und Eierschale besteht, ist jedoch europaweit ein absolutes Novum.

»Das Eigelb enthält Pflanzenproteine beispielsweise aus Erbse und/oder Ackerbohne, Süßkartoffel, hochwertige Omega-3-Fettsäuren und Calcium«, verrät Verónica García-Arteaga. Die Mexikanerin, die in München Ernährungswissenschaften studiert hat, verspricht schon auf ihrem Social-Media-Profil: »Egg-citing things are coming.« Auf Anregung eines Industriepartners hat sie zunächst am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising veganes Eiweiß und Eigelb entwickelt. Im Mai 2021 wurde das Start-up VEgg GmbH gegründet, wo sie Mitgründerin und CTO ist. Im November 2021 trat Dr.

Patrick Deufel als Mitgründer und CEO in das Unternehmen ein. Die Jungunternehmer haben ihr Büro in Berlin angesiedelt und arbeiten hart daran, eine gesunde Ei-Alternative ohne Tierhaltung auf den Markt zu bringen. In ihrem »Betr Egg« sorgt

ein komplexes Wechselspiel von Ionen und algenbasierten Hydrokolloiden dafür, dass das Eigelb einen kugelförmigen Dotter samt Dotterhaut ausbildet. Diesen Ansatz verwendet man bereits in der Molekulargastronomie, etwa beim Bubble Tea. Das Eiklar besteht vor allem aus Proteinen und Hydrokolloiden – also Polysacchariden, die sich leicht zu einem Gel vernetzen. Diese können sogar dafür sorgen, dass sich das durchsichtige Eiklar ebenso wie beim Vorbild Hühnerei beim Kochen weiß verfärbt und verfestigt. Den Geschmack bringt Kala-Namak, ein schwarzes Salz mit einem hohen Schwefelgehalt. »Sowohl beim Eiklar als auch beim Eigelb halten wir die Liste der Inhaltsstoffe so einfach wie möglich: pflanzenbasierte Zutaten ohne Konservierungsstoffe, ohne künstliche Aromastoffe und ohne künstliche Farbstoffe«, sagt García-Arteaga. Weitere Pluspunkte für die Gesundheit des Konsumenten: Das vegane Ei enthält weder Cholesterin noch Allergene, auch ist es glutenfrei.

Die Schale fürs Ei

Die Klugen sehen auf den Kern, die Dummen auf die Schale, sagt ein estnisches Sprichwort. Doch gerade zu Ostern gehört die Schale fest zum Ei – auch wenn sie im Grunde ja nur überflüssiges Verpackungsmaterial darstellt. Um den Verbrauchern das »Erlebnis« des Frühstückseis oder auch des Eieraufschlags beim Kuchenbacken zu lassen, entwickelten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IVV auch gleich die passende Eierschale. »Unser Ziel war eine bioabbaubare Eierschale, die auf den Kompost geworfen werden kann, in industriellem Maßstab herstellbar und ebenso zerbrechlich wie eine tatsächliche Eierschale ist – und sich mit dem Eierlöffel aufschlagen lässt«, erläutert Dr. Siegfried Fürtauer, der die Schale am Fraunhofer IVV mitentwickelte und mittlerweile die Verpackungsentwicklung in der VEgg GmbH leitet. Doch damit nicht genug: Die Schale muss das Ei auch schützen. »Während die natürliche Eierschale sicherstellt, dass das heranwachsende Küken ausreichend mit Luft versorgt wird, und somit porös ist, gilt es, das Lebensmittel Ei vor Luft, Keimen und vor dem Austrocknen zu schützen. Wir kopieren daher nur die Form der natürlichen Eierschale, nicht aber das Material selbst«, sagt Fürtauer.

Dieses anspruchsvolle Ziel wurde durch ein Spritzgussverfahren mit einem bioabbaubaren thermoplastischen Kunststoff erreicht, der selbst wiederum nicht aus Erdöl, sondern über einen Fermentationsprozess aus speziellen Bakterien gewonnen wird. »Wir haben für die Eierschale eine gänzlich neue Generation von Bioplastik verwendet«, versichert Fürtauer. Für die Zerbrechlichkeit der Schale sorgt Calciumcarbonat, welches das Forscherteam zum Biokunststoff mischt. Die Materialentwicklung

»Egg-citing things are coming.«

Verónica García-Arteaga

ist weitgehend abgeschlossen, im Pilot-Maßstab lassen sich die Eierschalen bereits herstellen.

Wie kommt das Ei in die Schale?

Für eine industrielle Produktion bleiben noch einige Herausforderungen. Generell bestehen zwei Möglichkeiten. Die erste: Man produziert die komplette Eierschale, spart jedoch ein Füllloch aus, durch welches sowohl Eigelb als auch Eiklar flüssig eindosiert werden können. Diese dürfen sich vorerst nicht mischen – es sei denn, sie werden geschüttelt oder gerührt – da sie unterschiedlich dickflüssig sind. Doch bildet sich die Eigelbkugel auch nicht von allein. Um diese entstehen zu lassen, und das ist der schwierige Teil, müssen der Durchmesser des Lochs, die Geometrie der Eierschale, der Düse, die Befüllzeit und der -druck exakt stimmen. Durch die komplexe Wechselwirkung zwischen den Inhaltsstoffen des Eigelbs und des Eiklars wird dann die Eigelbkugel stabilisiert, und es bildet sich die charakteristische Dotterhaut. García-Arteaga und Fürtauer sind zuversichtlich, dass dieser Ansatz an der Seite bereits gefundener Maschinenlieferanten-Partner gelingen wird. Der zweite Weg: Das vorverkapselte runde Eigelb wird in eine offene Eierschale gelegt, diese mit dem Eierschalen-Gegenstück, also dem Deckel der Verpackung, versiegelt, und das Eiklar durch das Füllloch eingefüllt. Während der erste Ansatz sich nur mit den entsprechenden industriellen Anlagen realisieren lässt, konnte der zweite Ansatz seine Tauglichkeit bereits im Labor unter Beweis stellen. Nun muss jedoch auch er noch auf die industrielle Ebene überführt werden.

Ende 2023 soll es so weit sein: Dann soll das vegane Ei samt seiner »Eierschalen-Verpackung« in den Regalen von Supermärkten zu finden sein. Doch wird die VEGG GmbH die Zeit bis dahin nicht »Ei-los« verstreichen lassen: Als Zwischenschritt werden die Firmengründer flüssiges Rührei, in dem Eiweiß und Eigelb bereits vermischt sind, in Beutel und Container abfüllen und diese z.B. an Bäckereien, Gastronomie oder andere B2B-Kunden vermarkten. Im Einzelhandel wird das vegane Rührei oder auch seine individuellen Komponenten Eigelb und Eiklar in Gläsern und Tetrapaks, Flaschen oder Joghurtbechern erscheinen – hier wird neben der technischen Machbarkeit bei der Abfüllung und der Benutzerfreundlichkeit vor allem auch die Nachhaltigkeit der Verpackungen eine große Rolle spielen. Diese Rührei-Varianten könnten, so hoffen García-Arteaga und Fürtauer, bereits 2022 auf den Markt kommen. Dabei hat das VEGG-Team keineswegs nur Veganer als Zielgruppe im Blick. »Ein Ei-Ersatz, der wie ein Ei schmeckt und wie ein Ei aussieht, findet sicherlich eine breite Akzeptanz – anders als beispielsweise Tofu, der zwar als Fleischersatz eingesetzt wird,

aber keinerlei Ähnlichkeit mit dem tierischen Produkt hat«, sagt Fürtauer. Gute Nachrichten also für Menschen, die weniger Eier verzehren wollen, dafür aber nicht zu großen geschmacklichen Kompromissen bereit sind.

Größer denken als das Ei

Das Ei des Kolumbus für die Ernährung der Zukunft ist auch mit dem »Bettr Egg« noch nicht gefunden. Es geht um mehr. »Bei der Lebensmittelfrage schauen wir nicht nur auf einzelne, alleinstehende Entwicklungen«, sagt Prof. Andrea Büttner, Leiterin des Fraunhofer IVV. Sie behält das große Ganze im Blick. »Wir brauchen einen Wandel der Wirtschaft und einen Wandel bei den Konsumentinnen und Konsumenten – ansonsten laufen wir weiter auf ein riesiges Problem zu.«

Zwar mögen viele Veganer ihre Entscheidung, keine von Tieren erzeugten Produkte zu verzehren, aus Gründen des Tierwohls getroffen haben. Doch machen auch Klima- und Ressourcenprobleme es unumgänglich, von tierischen Produkten zunehmend auf pflanzliche Lebensmittel umzuschwenken. Dazu kommt Rohstoffmangel. Schon jetzt klagen deutsche Unternehmen über massive Lieferschwierigkeiten bei Lebensmittelrohstoffen und Verpackungsmaterialien – in Zukunft dürfte sich die Situation weiter ▶

»Unser Ziel war eine bioabbaubare Eierschale, die auf den Kompost geworfen werden kann, in industriellem Maßstab herstellbar ist – und sich mit dem Eierlöffel aufschlagen lässt.«

Dr. Siegfried Fürtauer
kam vom Fraunhofer IVV
zu »Bettr Egg«



verschärfen. »In Deutschland können wir die Versorgung der Bevölkerung nicht ohne die Bewältigung großer Herausforderungen aus eigener Kraft aufrechterhalten«, ist Büttner überzeugt.

Neue Alternativen aber schaffen ebenfalls neue Herausforderungen. Beispiel Haferdrinks. Wo kommt der Hafer in der geforderten Menge her? Wie lässt sich eine Monokultur vermeiden? Was tun, wenn in einer Region etwa wegen Überschwemmung die Haferernte ausfällt?

Die Kuh gibt ihre Milch ganzjährig, der Hafer kann nur zu bestimmten Zeiten geerntet werden – wie sehen optimale Lagerbedingungen aus? »Wir müssen ganze Logistikketten und Verarbeitungsprozess-Systeme neu denken«, fordert Büttner.

Fraunhofer bietet daher nicht nur einzelne Projekte und Produkte an, sondern zielt als Systemanbieter darauf ab, die Entwicklung regionaler Versorgungsketten ebenso abzudecken wie neue Wirtschaftsformen und Geschäftsmodelle. Oder, wie Büttner es ausdrückt: »Es ist alles andere als die reine Entwicklung von Eiern oder einzelnen Produkten – Fraunhofer hat ganze Projektlandkarten, die wie ein Puzzle ineinandergreifen.«

»Es ist alles andere als die reine Entwicklung von Eiern oder einzelnen Produkten – Fraunhofer hat ganze Projektlandkarten, die wie ein Puzzle ineinandergreifen.«



Prof. Andrea Büttner,
Geschäftsführende
Institutsleiterin
Fraunhofer IVV

Käse – vegan und fermentiert

Beispiel Käse. Bedarf an neuen Lebensmitteln besteht nicht nur beim Ei, sondern auch bei Käse. Zwar findet sich in den Super- und Biomarktregalen bereits eine ganze Palette an veganen Milchersatzprodukten. Was pflanzlichen Käse angeht, ist die Auswahl jedoch bislang äußerst überschaubar. Dazu kommt: Mit Ausnahme von Frischkäse ist veganer

Käse meist nicht fermentiert, sondern ein Fett-Stärke-Gemisch, das kaum Protein enthält und ernährungsphysiologisch nicht sonderlich wertvoll ist. Vielfach besteht es aus umstrittenem Palmfett, deklarierungspflichtigen Zusatzstoffen und Aromastoffen, die für den »käsigen« Geschmack sorgen. Zutatenlisten, denen Verbraucher eher skeptisch gegenüberstehen.

Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IVV gehen im Projekt »Kerbse« daher einen anderen Weg – und entwickeln einen Schnittkäse aus Erbsenprotein, der genau wie Käse aus Kuhmilch über einen Fermentationsprozess hergestellt wird. Die Vorteile: Erbsen haben einen hohen Proteingehalt von etwa 20 bis 25 Prozent, lassen sich regional anbauen, sind leicht verfügbar und werden nicht gentechnisch verändert wie die Sojabohne – was sich positiv auf die Verbraucherakzeptanz auswirkt. »Aus Erbsenprotein, Rapsöl und einer Zuckerquelle stellen wir pflanzliche Milch her«, erläutert Dr. Andrea Hickisch, Gruppenleiterin am Fraunhofer IVV. »Diese wird mit Milchsäurebakterien angeimpft, fermentiert und anschließend gepresst, gesalzen und gereift.« Zwar sind die einzelnen Prozessschritte an sich seit Jahrhunderten bekannt, dennoch war viel Entwicklungsarbeit nötig.

So mussten passende Bakterien gefunden, Bitterstoffe und »erbsige« Aromen abgebaut sowie käsige Noten erzeugt werden. Auch galt es, beim Pressen, Salzen und Reifen des veganen Käses die richtigen Bedingungen zu finden: Einerseits darf der Käse nicht wegschimmeln, andererseits ist die Reifung für die Ausbildung des Aromas nötig. Bei all diesem sind die Forscherinnen und Forscher bereits auf einem guten Weg: Der Käse-Prototyp ist sowohl von der Textur als auch von Sensorik und Geschmack schon sehr ansprechend. Bis der vegane Käse auf den Markt kommt, dürfte es allerdings noch ein bis zwei Jahre dauern.

Fisch mit gutem Gewissen verzehren

Beispiel Fisch. Die Meere sind hochgradig mit Mikroplastik und Schwermetallen belastet, die über den Fisch auf unseren Tellern landen. Zudem gelten über 90 Prozent aller Fischbestände als maximal befischt oder gar überfischt. Andererseits sind angesichts der wachsenden Weltbevölkerung immer mehr Menschen auf Fisch als Proteinquelle angewiesen. Würde der Fisch jedoch statt aus dem Meer zu kommen direkt aus Zellen kultiviert werden, ließen sich diese Probleme lösen. Die passende Technologie hat die Bluu Seafood, eine Ausgründung des Fraunhofer-Entwicklungszentrums für Marine und Zelluläre Biotechnologie EMB. »Wir produzieren Fisch aus echten Fischzellen, die wir im Bioreaktor auf Gerüststrukturen züchten«, erklärt Dr. Sebastian Rakers, Gründer und Ge-

schäftsführer von Bluu Seafood. Auf diese Weise müssen keine Fische für die Nahrungsversorgung sterben, auch ist das Fischfleisch frei von Gentechnik, Antibiotika und Umweltgiften. Fötales Kälberserum, das die zellbasierte Fleisch- und Fischzucht anfangs ein Stück weit in Ver- ruf gebracht hat, setzt das Team dank selbst entwickelter Nährmedien ebenfalls nicht ein. Zunächst einmal sollen hybride Produkte wie Fischbällchen, Fischstäbchen und Fischtartar aus Zellkomponenten und pflanzlichen Proteinen produziert und an Restaurants geliefert werden, später werden die Produkte auch in Supermärkten zu finden sein. Langfristig soll das Angebot auch Fischfilet umfassen. Bei ihren Forschungsarbeiten kooperiert die Bluu Seafood nach wie vor eng mit dem Fraunhofer EMB, das assoziierter Bestandteil der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Lübeck ist.

Nachhaltig kann auch eine Fischzucht in Aquakultur und Marikultur sein. Doch dürfen sich im Wasser und im Fisch natürlich keine Krankheiten entwickeln. Im EU-Projekt »Rasopta« arbeiten die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IVV daher an Fütterungstechniken, entsprechenden Sensoren und Filteranlagen, um Krankheiten frühzeitig zu erkennen und vorsorgen zu können. Auch Fehlparfums wie muffiger Geschmack lassen sich durch die entwickelten Technologien vermeiden. Die Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer EMB forschen an einer verbesserten Nachhaltigkeit von Fischprodukten. Denn vielfach wird nicht der gesamte Fisch verkauft, sondern nur das Filet. Dabei bleibt viel gutes Fischfleisch zurück und landet im Abfall. Das Forschungsteam nutzt dieses Fischfleisch und verarbeitet es zu einem gesunden Proteinsnack in Chipsform, der sich – ebenso wie Kartoffelchips – gemütlich auf dem Sofa futtern lässt. Dabei sind diese Chips deutlich gesünder als herkömmliche, so enthalten sie beispielsweise hochwertige Omega-3-Fettsäuren. Weiterhin baut Fraunhofer die Forschungskapazitäten im Wachstumsbereich Aquakultur gezielt aus. Seit dem 1. Januar 2022 verstärkt das Forschungsteam der Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH die Fraunhofer IMTE. Mit vereinten Kräften wollen die Forschenden neue Lösungen für umweltgerechte Aquakulturverfahren erarbeiten.

Algen im Bier?

Beispiel Algen. Chiasamen, Brennnessel und Grünkohl sind als Superfood bekannt. Doch haben auch Makroalgen wertvolle Inhaltsstoffe, die ihnen bereits heute einen Rang auf der Superfood-Liste sichern. Schließlich enthalten sie viele Ballaststoffe, Proteine und Mineralstoffe. Dazu kommt: Die Algen werden im Meer gesammelt oder

angebaut – ohne Ackerland, ohne Dünger, ohne zusätzliche Energie. Zudem entnehmen sie dem Meer Nährstoffe, die durch Düngemittel von den Äckern im Übermaß dort hineingelangen und Probleme nach sich ziehen.

Im Gegensatz zu anderen Superfood-Produkten stehen Algen jedoch bislang vor allem in Tablettenform als Nahrungsergänzungsmittel zur Verfügung. »Wir wollen die Algen – insbesondere aus Europa – stärker auf dem Speisezettel der Deutschen verankern«, erläutert Elke Böhme, Gruppenleiterin am Fraunhofer EMB.

»Und wie könnte das besser gelingen als im Bier, einem der liebsten Getränke der Deutschen?« Die Algen liefern mit ihrem besonderen Geschmack und ihrer interessanten Farbe quasi das gewisse Etwas im Gerstensaft. Das Herstellungsverfahren ist entwickelt – das Algenbier lässt sich in einer Standardbrauerei herstellen, die Alge wird dabei einfach beim Brauverfahren mit hinzugegeben. Lieber die alkoholfreie Variante? Auch dafür haben die Forscherinnen und Forscher ein Verfahren entwickelt: Heraus kommt eine gebraute Algenlimonade. Doch lassen sich Algen wie Lappen- oder Zuckertang nicht nur in flüssigen Nahrungsmitteln einsetzen, sondern auch zu Algeneis und Algenpesto aufbereiten, wie verschiedene Projekte des Fraunhofer EMB zeigen.

Über gesundheitlich interessante Inhaltsstoffe verfügen ebenfalls die kleinen Artgenossen des Lappentangs, die Mikroalgen: Proteine, Omega-3-Fettsäuren, verschiedene Pigmente mit antioxidativer Wirkung, Phytosterole. Wie sich Mikroalgen im Photobioreaktor züchten ▶

»Wir produzieren Fisch aus echten Fischzellen, die wir im Bioreaktor auf Gerüststrukturen züchten.«



Dr. Sebastian Rakers,
Gründer und
Geschäftsführer von
Bluu Seafood

und zu hochwertigen, gesunden Lebensmitteln verarbeiten lassen, untersuchen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IGB in zahlreichen Projekten, unter anderem im internen Leitprojekt »Future Proteins« mit fünf weiteren Fraunhofer-Instituten.

»Wir betrachten jeweils die gesamte Kette von der Produktion bis zur Aufbereitung in Lebensmittel, sei es als veganer Wurstaufstrich, sei es als Milchshake oder Shot«, erläutert Dr.

Ulrike Schmid-Staiger, Gruppenleiterin am Fraunhofer IGB. Herausfordernd ist unter anderem der hohe Strombedarf, da die Algen künstlich beleuchtet werden müssen – das Sonnenlicht allein reicht nicht aus. Auch die grüne Farbe ist bei Nahrungsmitteln weniger erwünscht, das Forscherteam entwickelt daher Verfahren, über die sich das farbgebende Chlorophyll entfernen lässt. Im Dezember 2023 endet das Projekt, dann soll ein gesundes, neues Algenlebensmittel entwickelt sein.

Frucht-Smoothies zum Knabbern

Beispiel Früchte. Zwölf Millionen Tonnen Lebensmittel landen Jahr für Jahr in Deutschland im Müll – viele nur deshalb, weil sie in Form oder Farbe nicht der Norm entsprechen. Dabei schmecken krumme Gurken, divers geformte Äpfel und Tomaten ebenso gut wie ihre Ebenbilder im Standardmaß. »Wir brauchen zwingend neue Geschäftsmodelle und alternative Verwertungswege – um Verschwendung einzugrenzen und den Lebensmitteln wieder ihren Wert

zu geben, den sie verdienen«, ist Prof. Büttner überzeugt. Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IVV arbeiten daher gemeinsam mit dem Berliner Start-up

Sprk GmbH daran, krumme Lebensmittel für

hochwertige Produkte zu verwenden. Die

Basis bildet die Mikrowellenvakuum-

behandlung von Obst – ein Ver-

fahren, das am Fraunhofer IVV

entwickelt wurde. »Anders als

bei der Gefriertrocknung,

bei der meist langweilige,

weiche Produkte heraus-

kommen, erhalten wir

ein knuspriges Pro-

dukt, das ähnlich wie

Kartoffelchips als

Snack verzehrt wer-

den kann«, erläutert

Prof. Peter Eisner,

stellvertretender

Leiter des Fraun-

hofer IVV. Wäh-

rend üblicherwei-

se 80 Prozent der

Kosten im Roh-

stoff liegen und

mit 10 bis 20 Euro

pro Kilo zu Buche

schlagen, sinken

diese gegen null,

wenn man ein

Nebenprodukt als

Grundlage nimmt.

»Indem wir auf Le-

bensmittel setzen,

die ansonsten wegge-

worfen würden, sinken

nicht nur die Kosten,

sondern es steigt gleich-

zeitig die Nachhaltigkeit

und Wertschöpfung – bei

einem tollen Aroma und Knus-

perereffekt«, verspricht Eisner. Da

diese Früchte jedoch auch mal eine

braune Stelle haben können oder bei

Erdbeeren eine unreife weiße, bringen die

Forschenden die verschiedenen Früchte in zer-

kleinerter Form zusammen und produzieren gewisser-

maßen einen gepufften Smoothie zum Knabbern. Durch

die schonende Verarbeitung bleiben die Vitamine zu 50

bis 80 Prozent erhalten, Proteine und Mineralien sogar

zu 100 Prozent. Auch könnte Presskuchen aus der Saft-

85 %
der Testesser konnten nicht erkennen, welches Produkt auf veganem Ei und welches auf Hühnerei basierte.

100 %
der Testpersonen schmeckte die vegane Quiche besser: saftiger – und angenehmer im Geruch.

gewinnung verwendet werden, etwa von Ananas – der aufgrund des hohen Ballaststoffanteils ernährungsphysiologisch sehr wertvoll ist – und mit Minze und Ingwer oder Mango und Paprika verfeinert werden. Anfang 2023 sollen die gesunden Snacks aus »krummen Dingern« auf den Markt kommen.

Lebensmittelverluste vermeiden wollen die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IVV auch im Projekt »SHIELD – Sichere heimische (Bio-)Lebensmittel durch sensorische Detektionsverfahren«. So sollen es sensorische Methoden erleichtern, insbesondere bei schnell verderblichen Biowaren Qualitätsprognosen zu erstellen und Logistikketten zu optimieren – und damit die tatsächlichen Wünsche der Lebensmittelindustrie und der Verbraucher zu erfüllen. »So wie wir Menschen mehrere Sinne haben, verlassen wir uns auch beim technologischen Ansatz nicht auf einen einzelnen Kanal, sondern kombinieren Sensortechnologien, optische Methoden und intelligente Algorithmen«, sagt Büttner. »Das Ergebnis sind Handgeräte und smarte Software, die auch in kleinen Betrieben einsetzbar sind. Zusätzlich wollen wir Methoden etablieren, mit denen sich die Authentizität sowohl von Rohstoffen als auch von produzierten Lebensmitteln nachweisen lässt«, erläutert Dr. Susann Vierbauch, die das interdisziplinäre Konsortialprojekt koordiniert.

Wie verändern neue Lebensmittel unseren Geschmackssinn?

Veganes Ei und Fisch aus der Petri-Schale, Erbsenkäse und Algenbier: Der Umbruch in der Ernährung ist nicht zu übersehen. Doch wie wird sie schmecken, die Zukunft? »Die Zukunft schmeckt sehr viel regionaler«, antwortet Büttner, »wir werden viele Dinge aus heimischer Produktion neu erfinden, neu wertschöpfen müssen, um lange Transportketten mit CO₂-Emissionen zu vermeiden. Und wir werden ganz viel Altes im großen Maßstab wiederentdecken.« Die Fraunhofer-Institutsleiterin erinnert an die Renaissance von Verarbeitungs- und Veredelungstechniken wie der Fermentation. »Was wir heute essen, ist ein Produkt des Zufalls. In Krisenzeiten aßen Leute Dinge, die eigentlich vergammelt waren – und sie merkten: Das schmeckt besser und ist nährender als die gewohnte Nahrung.« So seien, erzählt Büttner, Brot, Milchprodukte und gereifte Wurstwaren, Essig und alkoholische Getränke entstanden. »Diesen Prozess führen wir fort und entwickeln ihn weiter, vor allem im Hinblick auf pflanzliche Rohstoffe. So entstehen neue Texturien und neue Lebensmittel, die unser Verbraucherverhalten und unseren Geschmack der Zukunft prägen werden.«

Nutzen lässt sich Fermentation nicht nur, um gewohnte Lebensmittel mit neuen Ausgangsstoffen zu imitieren,

sondern auch, um gänzlich neue Geschmackseindrücke zu entwickeln. Eine spannende Frage in diesem Zusammenhang: Wie lässt sich die Neugier der Konsumenten wecken, sodass sie neuartige Lebensmittel ausprobieren, die ihnen vielleicht besser schmecken und obendrein Klima, Tiere und Gesundheit schonen? Denn: Was uns schmeckt, ist keinesfalls festgezurr und unabänderlich. »Was gemocht wird, ist in einem ständigen Fluss«, weiß Prof. Jessica Freiherr, Gruppenleiterin am Fraunhofer IVV. »Je häufiger wir Dinge essen, desto besser schmecken sie uns.« So zeigte eine Studie: Wurde Babys der anfangs weitgehend verschmähte Brokkolibrei immer wieder angeboten – und zwar ohne Druck, sondern liebevoll und in angenehmem Umfeld –, war er nach acht Tagen ebenso beliebt wie Karottenbrei. Inwieweit die Vertrautheit mit bestimmten Lebensmitteln deren Akzeptanz auch bei Erwachsenen steigert, untersuchen die Forscherinnen und Forscher derzeit am Institut. Eines der Ergebnisse: Tranken Erwachsene über sieben Tage spezielle Milchshakes mit ungewohntem Geschmack, stieg auch bei ihnen die Beliebtheit des Getränks.

Kann also ein Ei, das gänzlich von Menschenhand entwickelt wurde, tatsächlich schmecken? Dies untersuchten García-Arteaga und Fürtauer in ersten Blindverkostungen mit etwa hundert Testpersonen, die BettrEgg in Form von Muffins und Quiche sowie herkömmliche, mit Hühnerfleisch hergestellte Varianten probierten. Das Ergebnis: 85 Prozent der Testesser konnten nicht erkennen, welches Produkt auf veganem Ei und welches auf Hühnerfleisch basierte. Bei der Quiche schmeckte 100 Prozent der Testpersonen die vegane Version besser. Sie empfanden sie als saftiger und angenehmer vom Geruch. Zumindest in Bezug auf das vegane Ei scheint unser Geschmackssinn also schon bereit zu sein für die Zukunft – auch wenn sich das Ei bislang noch nicht österlich färben lässt. ■

»Je häufiger
wir Dinge
essen, desto
besser
schmecken
sie uns.«

Jessica Freiherr, Fraunhofer IVV

Interview

»Was wir ändern müssen...«

Er sieht in der Agrarpolitik ein »ausbeuterisches System«. Er ist überzeugt, »so geht es nicht weiter«. Im Interview erklärt Cem Özdemir, was er als neuer Landwirtschaftsminister besser machen will – und wie ihm Fraunhofer-Technik dabei hilft.

Interview: Josef Oskar Seitz

Er wurde als Verkehrsminister gehandelt, als Außenminister. Seit dem 8. Dezember ist Cem Özdemir, 56, vereidigt als Bundesminister für Ernährung und Landwirtschaft.



_____ **Bei uns wird immer weniger Fleisch produziert, Herr Özdemir: eine gute Nachricht für Deutschland?**

Wenn stattdessen im Ausland zu schlechteren Umwelt- und Tierwohlbedingungen produziert und nach Deutschland exportiert wird, haben weder Klima, noch Tiere, noch unsere heimische landwirtschaftliche Produktion etwas davon. Eine gute Nachricht wäre, wenn in Deutschland bei Angebot und Nachfrage konsequent auf Qualität gesetzt würde. Bei der Angebotsseite wollen wir in dieser Legislaturperiode echte Fortschritte erzielen und den Umbau der Nutztierhaltung vorantreiben. Denn so wie es jetzt ist, geht es nicht weiter – das System geht zu Lasten der Tiere, der Umwelt und der Landwirtschaft selbst. Ein zentraler Baustein ist eine verbindliche Tierhaltungskennzeichnung, an der wir gerade arbeiten. Sie wird die tatsächlichen Haltungsbedingungen in den Ställen transparent machen. Ein weiterer Baustein ist die Herkunftskennzeichnung.

_____ **Was ist hier geplant?**

Wir wollen auf europäischer Ebene die Herkunft von Lebensmitteln sichtbarer machen. Denn die Verbraucherinnen und Verbraucher wollen wissen, wo ihr Essen herkommt – und unsere Landwirte können dann mit der Herkunft punkten. Wenn im Supermarkt-Flyer mit der Herkunft geworben wird, statt mit dem Sonderpreis, dann haben alle etwas davon. Es ist ja auch eine Frage der Wertschätzung für unsere Landwirtinnen und Landwirte. Für mich ein wichtiger Aspekt: Die Herkunftskennzeichnung macht auch Transportwege sichtbar und ist so ein Baustein für klimagerechteren Konsum.

_____ **Im fünften Jahr registriert das Statistische Bundesamt einen Rückgang im Fleischkonsum, allein bei Schweinen 2021 um 2,9 Prozent auf 51,8 Millionen geschlachtete Tiere. Würden Sie einem jungen Menschen noch raten, den landwirtschaftlichen Betrieb der Eltern zu übernehmen?**

Die Schlachtstatistik ist nur eine Seite der Medaille. In den vergangenen zehn Jahren hat sich die Zahl der schweinehaltenden Betriebe fast halbiert, während die Zahl der Schweine nahezu unverändert ist. Wir sind mitten in einem Konzentrationsprozess – hin zu weniger, aber

»Unser Ministerium hat das viertgrößte Forschungsbudget. Forschung und Innovation können beitragen, scheinbare Zielkonflikte aufzulösen.«

Cem Özdemir

dafür immer größeren Betrieben. Viele Familienbetriebe können dabei nicht Schritt halten. Von jedem Euro, den die Kunden an der Kasse für Fleisch ausgeben, bekommen die Bäuerinnen und Bauern gerade einmal 21 Cent ab. Das ist das Ergebnis einer zu einseitig ausgerichteten Agrarpolitik. Ich bin nicht bereit, dieses ausbeuterische System weiter hinzunehmen. Wir wollen den Betrieben eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Perspektive bieten, damit die Jungen gerne den Betrieb übernehmen und eine Existenzgrundlage haben. Damit ist auch ein größeres gesellschaftliches Ziel verbunden: Dort, wo es Landwirtinnen und Landwirte gibt, dort engagieren sie sich auch im und für den ländlichen Raum. Das stärkt den Zusammenhalt und die Dorfkultur.

_____ **Sie sind schon als Verkehrsminister gehandelt worden, als Außenminister mit dem Argument Ihrer Familienherkunft. Jetzt also Landwirtschaftsminister. Was verbindet Sie mit dem Bauernstand, wie das früher mit Stolz hieß?**

Politisch habe ich dieses Feld tatsächlich noch nicht beackert. Die Eltern meines Vaters waren Landwirte. Dort, in der Türkei, bin ich früher immer in den Sommerferien gewesen. ►



1965

Grundsypathie fürs Automobil

zeigt der kleine Cem, geboren und aufgewachsen in Bad Urach, Baden-Württemberg. Der Vater war 1963, die Mutter 1964 nach Deutschland gekommen. »Die Eltern haben mit mir nur Türkisch gesprochen«, erzählt Özdemir. »Ein Glück – sonst hätte ich jede Menge Fehler gelernt.«



1998

Nach Realschule und Erzieherausbildung,

Fachabitur und Studium der Sozialpädagogik zieht Özdemir 1994 in den Bundestag ein. 1998 wird er zu einem der beiden Bundesvorsitzenden der Grünen gewählt.



1999

Besuch bei der Mutter

Die Betreiberin eines Nähsalons hatte Cem als Schüler eine Nachhilfelehrerin vermittelt. »In Deutsch hatte ich bis zur fünften Klasse immer eine Fünf«, erinnert er sich. »Ich war der Schlechteste.«

Und nun schließt sich irgendwie der Kreis. Es ist mir vor allem eine große Ehre, unserem Land als Bundeslandwirtschaftsminister dienen zu dürfen. Und natürlich habe ich mich gefreut, dass mir meine Partei diese große Aufgabe zutraut. Ich habe jetzt die Möglichkeit, mit meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu gestalten und wichtige Veränderungen anzustoßen, die letztlich 83 Millionen Menschen betreffen. Mir ist wichtig, dass wir die Aufgaben gemeinsam angehen und Schluss machen mit dem »die einen gegen die anderen«. Und zu Ihrer Frage: Ja, ich denke auch, dass die Landwirtinnen und Landwirte zu Recht auf ihre Arbeit stolz sein können und wir das auch sein sollten. Zudem erlebe ich da viel Innovationsgeist und auch eine gewisse Beharrlichkeit, die mir großen Respekt abringt. Mir ist wichtig, ehrlich zu sein und zu sagen, was wirklich ist und was wir ändern müssen. Viel zu lang wurde den Betrieben erzählt, dass es keine Probleme gebe – zum Beispiel beim Thema Nitrat-Belastungen durch Überdüngung, wo die EU seit Jahren Besserungen anmahnt und wir nun kurz vor knapp enorme Strafzahlungen abgewendet haben.

»Keine Ramschpreise« haben Sie für Lebensmittel gefordert – und sich natürlich Ärger eingehandelt. Heißt das Küchenrezept der Zukunft schlicht: weniger, aber teurer?

Das ist zu vereinfacht – mein Rezept hat mehr Zutaten. Erstens müssen die Landwirtinnen und Landwirte in Deutschland erfolgreich wirtschaften können. Zweitens: Was wir für Lebensmittel ausgeben, muss die ökologische Wahrheit berücksichtigen, also die Kosten für Mensch, Tier und Umwelt. Und drittens brauchen wir hochwertige, aber eben auch bezahlbare Lebensmittel. Ich will die Enden dieses Zieldreiecks zusammenbinden. Klar heißt das, die Tierzahl wieder mit der Fläche in Einklang zu bringen. Und wichtig ist auch, dass die Landwirtinnen und Landwirte nicht die Verlierer dieses Wandels werden. Wenn sie eine bessere Tierhaltung umsetzen, muss sich das für sie auch langfristig auszahlen. Hier sind wir alle gemeinsam in der Verantwortung – Politik, Ernährungswirtschaft, Handel und Verbraucher.

»Für meine Mutter war es Liebe, ihrem Kind Süßigkeiten zu geben«, haben Sie einmal erzählt. Was glaubt der gelernte Erzieher Cem Özdemir, wie lange es dauern wird, eine gesündere und umweltverträglichere Ernährung in den Alltag zu bringen?

Wenn Liebe und Kalorien Hand in Hand gehen, kommt das dicke Ende irgendwann – im wahren Sinne. Gut ist ja, dass das Thema gesunde und nachhaltige Ernährung inzwischen in fast aller Munde ist. Da hat sich definitiv etwas gewandelt. Es ist aber nicht immer leicht für die Verbraucherinnen und Verbraucher zu erkennen, welches Lebensmittel denn nun wirklich gesund ist und ob es ressourcenschonend produziert wurde. Deshalb haben wir als Koalition beschlossen, den Nutriscore weiter zu entwickeln. Also das farbliche Nährwertkennzeichen, das Sie auf vielen verpackten Lebensmitteln finden. Wir brauchen hier eine einheitliche europäische Lösung. Außerdem sind wir am Haltungs- und am Herkunftskennzeichen dran – das hatte ich ja eben schon beschrieben.

Damit wären wir auch auf der Nachfrageseite, die Sie eben angesprochen haben ...

Richtig: Wir wollen dafür sorgen, dass das Angebot gesünder, tiergerechter und nachhaltiger produziert wird und wir wollen natürlich auch, dass es den Verbraucherinnen und Verbrauchern leichter fällt, dies zu erkennen. Mit diesen Kennzeichnungen können wir auf jeden Fall eine gute Unterstützung geben, sich für einen tier- und umweltgerechten Konsum zu entscheiden.

Was versprechen Sie sich von der Mehrfachnutzung landwirtschaftlicher Flächen durch überbaute Solarpanels?

Unser Ziel ist, den Ausbau der erneuerbaren Energien voranzutreiben. Agri-Photovoltaik sorgt für eine ganz klare Win-win-win-Situation: Unsere Landwirtinnen und Landwirte können einen Beitrag zur Versorgung mit erneuerbaren Energien leisten – und damit Geld verdienen. Gleichzeitig können sie ihre Fläche trotzdem weiter bewirtschaften. Und das ist dann noch ein wichtiger Beitrag im Kampf gegen die Klimakrise.

Noch bleiben Hindernisse. Die duale Flächennutzung ist bislang gesetzlich schlicht nicht vorgesehen, Landwirte haben keinen Anspruch auf EU-Agrarsubventionen, die Einspeisevergütung des Stroms ist unregelt. Wie wollen Sie Hemmnisse aus dem Weg räumen?

Wir wollen ja gerade die Synergien nutzen und es möglich machen, dass auf einer Fläche die Erzeugung von Lebensmitteln und von nachhaltiger Energie möglich ist. Deshalb sehen die neuen Regelungen zur Agrarförderung ab 2023

»Die Fraunhofer-Ausgründung ConstellR will eine hochpräzise und damit nachhaltigere Bewirtschaftung unserer Felder möglich machen. Die Landwirtschaft ist moderner, digitaler und technisierter, als viele denken.«

Cem Özdemir



vor, solche Flächen bei den EU-Direktzahlungen zu berücksichtigen. Auch nach dem EEG sollen diese Anlagen gefördert werden.

Wie kann Forschung dazu beitragen, Ökonomie und Ökologie auch in der Landwirtschaft zu verbinden?

Unser Ministerium hat das viertgrößte Forschungsbudget aller Ressorts. Unsere nachgeordneten Behörden forschen an vielen Stellen dazu. Denn nur, wenn wir Ökonomie und Ökologie zusammenbringen, hat die Landwirtschaft in Deutschland eine gute Zukunft. Forschung und Innovation können dazu beitragen, scheinbare Zielkonflikte aufzulösen.

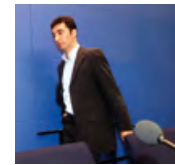
Haben Sie Beispiele?

Ich denke hier vor allem an die Digitalisierung in der Landwirtschaft. Hier gibt es schier endlose Möglichkeiten, die Landwirtschaft umwelt- und ressourcenschonender zu machen. Wir fördern zum Beispiel aktuell ConstellR – ein Start-up, das mit einer eigenen Satellitenflotte aus dem All die Bodengesundheit misst. Diese Fraunhofer-Ausgründung will eine hochpräzise

und damit nachhaltigere Bewirtschaftung unserer Felder möglich machen. Es gibt Techniken, die den Pestizideinsatz erheblich reduzieren oder sogar überflüssig machen: Roboter, die Unkräuter mithilfe einer KI-gestützten Bilderkennung bekämpfen – und zwar rein mechanisch mit Hitze, Lasern oder Strom. Damit schützen wir auch den Artenreichtum. Davon gibt es noch viel mehr Beispiele: Die Landwirtschaft ist jedenfalls moderner, digitaler und technisierter, als viele denken.

»Als Jugendlicher«, haben Sie einmal gestanden, »habe ich die Träume meiner Eltern zerdeppert.« Worauf wären Ihre Eltern heute stolz?

Na ja, als Rockmusik hörender, grüner Vegetarier in zerrissenen Jeans in einer Erzieherausbildung habe ich zeitweise nicht gerade dem Idealbild eines Sohnes entsprochen. Aber meine Eltern waren immer stolz auf mich und haben mich unterstützt. Ich denke, sie wären jetzt besonders stolz darauf, dass ich nun als Bundesminister arbeiten darf. Der Weg war mit Sicherheit nicht vorgezeichnet. ■



2002

»Bonusmeilenaffäre«: Özdemir hat Flugmeilen privat genutzt und von einem Lobbyisten einen günstigen Kredit angenommen. Der Abgeordnete reagiert konsequent: Er legt sein Bundstagsmandat nieder und verabschiedet sich mit einem Stipendium in die USA. »Ich war fertig mit der Politik«, sagt er. 2004 kehrt er als Mitglied des Europaparlaments in die Politik zurück.



2016

Yoga-Praktiker
Özdemir verärgert Teile seiner Partei mit einem Bekenntnis zum Waffeneinsatz: »Den Islamischen Staat bekämpft man nicht mit Yoga-Matten!«



2018

Handreichung
Özdemir streckt dem türkischen Präsidenten Erdogan die Hand hin, der zögert. Das Verhältnis wirkt zerrüttet. Erdogan beschimpfte Özdemir als »angeblichen Türken«, dessen Blut verdorben sei.

Stimmung? Saumäßig!

Schweine sind sensibel. Mit einem speziellen Sensor-System wollen Fraunhofer-Forschende die Befindlichkeit im Stall beobachten – und die Tiere bei Unruhe oder aufkommender Aggression spielerisch beschäftigen, um zu vermeiden, dass sie sich selbst oder andere verletzen.

Von Marina Babl

Ein Näschen für die Stimmungen im Stall will SmartPigHome entwickeln.

Schweine sind intelligente Tiere, intelligent und sensibel. Wenn sie sich unwohl fühlen, beginnen sie, mit ihren Zähnen zu spielen – an sich selbst und an ihren Mitbewohnern im Stall. Oft knabbern sie dann an den Ringelschwänzen der anderen und können sich so gegenseitig verletzen. Manchmal auch schwer. Da wird der Wohlfühlfaktor schnell zum Wirtschaftsfaktor in der Landwirtschaft. Von einer saumäßigen zu einer Sau-gemä-

ßen Stimmung im Stall zu kommen, hat sich Dr.-Ing. Sarah Fischer zur Aufgabe gemacht.

Die Leiterin der Abteilung »Elektronik für ZfP-Systeme« am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken ist Expertin für Methoden zur Charakterisierung komplexer Materialien. In der Regel sind das spezifische Bauteile. Über ihr aktuelles Betätigungsfeld staunt sie manchmal noch selbst: »Ich hätte nie gedacht, dass die Materialien, die

ich untersuche, mal so komplex werden wie Schweine im Stall.«

SmartPigHome ist das erste bewilligte von mehreren geplanten Projekten im Bereich Smart Farming des Fraunhofer IZFP. Das Institut, das sich sonst mit industrienahe Sensorforschung beschäftigt, will hier die Brücke zur Landwirtschaft schlagen. »Ich bin überzeugt, dass wir einen sehr wertvollen Beitrag in Sachen Tierwohl leisten können, wenn wir diese Lücke schließen«, glaubt Fischer. Das Projekt ist im Oktober

angelaufen und wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft mit 1,6 Millionen Euro gefördert. Unter der Leitung des Verbunds Transformationsforschung agrar Niedersachsen umfasst der Projektverbund neben dem Fraunhofer IZFP verschiedene weitere Partner mit Expertise im Tier-, KI- und Sensorbereich.

Das Ziel von SmartPigHome ist es, den Landwirt in seiner Arbeit und seinen Entscheidungen zu unterstützen. Sensoren erfassen Temperatur, Luftfeuchte und den Gehalt bestimmter Gase. Sie registrieren aber auch über Ton- und Bilddaten das Verhalten der Schweine. Mithilfe von KI-Modellen sollen dann unter Berücksichtigung aller Datenquellen Rückschlüsse auf die Stimmung der Tiere gezogen werden. Erkennen die Algorithmen, dass die Schweine unruhig oder aggressiv sind, bekommt der Landwirt eine Push-Benachrichtigung auf sein Handy. In kritischen Situationen aktiviert ein Beschäftigungstool mit sich bewegenden Lichtpunkten den Spieltrieb der Schweine und lenkt sie ab, bis Bäuerin oder Bauer vor Ort eingreifen können. »Unsere Sensorsysteme können somit die Augen und Ohren für den Landwirt sein, wenn dieser nicht im Stall ist, und bieten zusätzliche Unterstützung, um manche Situationen und Trends wahrzunehmen, die sonst nicht rechtzeitig erkannt werden«, sagt Fischer.

Nachhaltigkeit und Transparenz im Schweinestall

Dass die Idee von SmartPigHome von großer gesellschaftlicher Relevanz ist, zeigt ein Blick auf die aktuelle Situation im Bereich der Schweinehaltung in Deutschland. Obwohl der Fleischkonsum der Deutschen in den vergangenen Jahren zurückgegangen ist, landeten laut einer Studie des Bundesinformationszentrums Landwirtschaft im Jahr 2020 pro Kopf immer noch 57,3 Kilogramm Fleisch auf dem Teller. Fast 60 Prozent davon machte Schweinefleisch aus. Um diesen Bedarf zu decken, wurden dem Fleischatlas 2021 zufolge im Jahr 2019 in Deutschland über 55 Millionen Schweine geschlachtet. Verbraucher fordern von der Landwirtschaft im Allgemeinen und der Fleischwirtschaft im Speziellen zunehmend mehr Nachhaltigkeit und Transparenz. Gleich-

zeitig ist der Preis, den ein Landwirt bei der Schlachtung für ein einzelnes Mastschwein bekommt, sehr schwankend und zuletzt immer weiter gesunken. Schon ein einziges Schwein, das krank wird oder gar frühzeitig stirbt, kann daher einen empfindlichen finanziellen Verlust bedeuten.

Tierwohl rechnet sich also. Für die Stimmung im Stall liefern die Schweine selbst die wichtigsten Daten. Damit ein echter Nutzen für die Praxis besteht, müssen die Sensoren Informationen möglichst in Echtzeit auswerten und übermitteln. Bei bisherigen Forschungsprojekten in diesem Bereich wurde der Fokus meist auf die Entwicklung neuer Algorithmen gelegt, erklärt Fischer: »Häufig wurden über mehrere Wochen hinweg in einer idealisierten Stallumgebung riesige Mengen an Daten aufgenommen, vor allem Bilddaten, um dann nach einer aufwendigen Auswertung sagen zu können: Oh, in der zweiten Woche ist etwas Auffälliges passiert. Diese Information kommt für den Landwirt dann aber zu spät.«

Einer der Projektpartner von SmartPigHome beschäftigt sich vor allem mit Bilddaten und analysiert beispielsweise Bewegungs- und Liegeverhalten der Tiere. Am Fraunhofer IZFP konzentriert man sich in dem Projekt aber insbesondere auf akustische Daten. Fischer: »Diese lassen sich mit vergleichsweise wenig Rechenkapazität auswerten. Wir wollen evaluieren, wie sie sich in der Praxis sinnvoll nutzen lassen. Gleichzeitig sind die Laute, die Schweine von sich geben, sehr aussagekräftig, und gerade Stresssituationen lassen sich damit sehr gut erkennen.« Sind Schweine entspannt, grunzen sie tendenziell in niedrigeren Frequenzen, in Problemsituationen werden die Töne schriller. Betritt jemand den Stall, stoßen Schweine zudem häufig eine Art Belllaut aus.

Trainiert werden die Algorithmen, die die Stimmung am Ende richtig erkennen sollen, durch das Wissen der Landwirte. Fischer betont: »Für mich als Ingenieurin ist es faszinierend, wie gut Landwirte das Wohl ihrer Tiere an den kleinsten Indizien erkennen können. Unser Ziel kann es nur sein, dass unsere Sensorsysteme annähernd so zuverlässig werden wie die Landwirte.«

Bei der Erfassung der Bild- und Tondaten wollen die Forschenden auf bestehen-

de und möglichst kostengünstige Sensoren zurückgreifen. Das Beschäftigungstool, das von einem weiteren Kooperationspartner entwickelt wird, soll an den Stalldecken montiert werden. Beamersysteme auf Schienen sollen über die verschiedenen Schweinebuchten fahren und gezielt die Tiere ansteuern, bei denen das Sensorsystem Stress oder Anzeichen, dass es zu Stress kommen wird, identifiziert hat. Die Idee dahinter ist, dass die Tiere dann beispielsweise mit ihrer Nase Fußball-ähnliche Lichtpunkte bewegen können und nach dem Spielen eine Futterbelohnung erhalten.

Zwei Ställe, ein Ziel

Spätestens im Sommer sollen die ersten Sensorsysteme installiert und dann auch die ersten Messdaten generiert werden. Dabei wird mit zwei verschiedenen Ställen gearbeitet. Der eine ist ein konventioneller Schweinemastbetrieb für die Untersuchung unter Realbedingungen, der andere ein idealisierter Teststall der Tierärztlichen Hochschule Hannover, in dem beispielsweise für die Entwicklung des Beschäftigungstools untersucht werden soll, wie die Schweine auf unterschiedliche Licht- und Farbbedingungen reagieren.

Das Projekt ist zunächst auf drei Jahre angelegt. Sarah Fischer freut sich schon sehr auf den weiteren Verlauf: »Ich bin guter Dinge, dass wir mit unserer Arbeit dazu beitragen können, das Wohlbefinden von Schweinen in Mastbetrieben besser zu verstehen und zu steigern.« Ihre langfristige Vision ist es, dass die so neu erfassten Daten auch in offizielle Anforderungen an Haltungsformen und Tierwohlkennzeichnungen mit aufgenommen werden. »Das würde Tierwohl auf eine tierbezogenere Art und Weise quantifizieren und das, was Tierwohl ausmacht, bis zum Verbraucher sichtbar machen. Davon hätten auch die Landwirte einen Mehrwert. Ich glaube, nur so kann unsere Landwirtschaft in Deutschland nachhaltig bestehen.« ■

Wie unterscheidet sich ein zufriedenes Grunzen von einem unruhigen oder aggressiven? Hier geht's zum Podcast:



Mit Moos viel los

In Kriegen wurde es wegen seiner antiseptischen Wirkung als Wundverband verwendet. Die alten Römer benutzten es wegen seiner Saugfähigkeit als Toilettenpapier. Heute sollen Moosfassaden den gestressten Großstädtern ein Stück Natur vor die Haustür holen und Feinstaub aus der Luft filtern.

Von Mandy Bartel

Als die Gletschermumie Ötzi 1991 in den Ötztaler Alpen entdeckt wurde, fand man bei und an ihr 75 verschiedene Moosarten. Der Mann aus dem Eis nutzte sie vermutlich, um Nahrung oder Werkzeuge einzuwickeln und um Wunden zu verbinden. Für Bryologen, also Moosforscher, sind die Funde ein Glücksfall, denn sie geben Aufschluss über die Flora vor 5000 Jahren und die Vielseitigkeit der flauschigen Pflanzen.

Einer, der maßgeblich an der Erforschung der »Ötzi-Moose« mitwirkte, ist Dr. Wolfgang Hofbauer, Chief Scientist am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in Valley. Der ausgewiesene Moos-Experte, Mikrobiologe und Botaniker beschäftigt sich seit seiner Diplomarbeit vor 30 Jahren mit den grünen Multitalenten und deren Vorteilen. Von Anfang an inspirierte ihn die Idee, sie für die Gestaltung biointelligenter Fassaden zu nutzen. Denn die Eigenschaften der Moospflanzen sind erstaunlich: Sie können nicht nur das 12- bis 20-Fache ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Sie filtern Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft und bauen sie ab. Moose können über Jahre komplett austrocknen, um sich dann beim ersten Regen wieder vollständig zu erholen. Zudem haben sie besondere akustische Eigenschaften, psychologische Effekte auf das menschliche Wohlbefinden und erzeugen antiseptische Stoffe.

Mit Bioschleim an die Wand

In den vergangenen Jahren gab es einige Initiativen zur Begrünung von Fassaden mit Moos. Viele scheiterten. Häufig siedelten sich die Moose gar nicht erst richtig an. »Die Auswahl der richtigen Pflanzen ist ein wichtiger Erfolgsfaktor. Von den 20 000 bekannten Moosarten eignen sich nur wenige Hundert für

die Fassadengestaltung«, weiß Wolfgang Hofbauer. Geeignete Kandidaten erforscht das Fraunhofer IBP auf seinem Freigelände nahe München. »Besonders schwierig ist es, einen flächendeckenden und homogenen Bewuchs zu erreichen. Gerade die ersten Monate des Anwachsens sind kritisch«, erklärt der Experte weiter.

So entwickelte der Biologe mit seinem Team eine neue, zum Patent angemeldete Methode auf Basis einer Mischung aus quellfähigen Biopolymeren, Nährstoffen und Moospartikeln. Dieser schleimartige sogenannte »Moosstarter« kann direkt auf die Gebäudeoberflächen aufgetragen werden. Da hierbei aber das Risiko besteht, eventuell von Starkregen weggespült zu werden, lässt sich die Schicht alternativ auf Platten aufbringen und diese, sobald die Pflanzen angewachsen sind, an die Fassade. An den Wänden oder Platten verfestigen sich die Biopolymere und versorgen das Moos mit Feuchtigkeit und Nährstoffen. Das Anwachsen kann zusätzlich durch feinen Wassernebel beschleunigt werden. Statt auf bereits gewachsene Pflanzen etwa aus Wäldern zurückzugreifen, investiert das Forscherteam die Zeit, das Moos selbst anzuzüchten. »Das dauert zwar länger, ist aber erfolgversprechender und nachhaltiger«, ist Hofbauer überzeugt.

Nachdem die Forschenden bewiesen haben, dass ihr Konzept funktioniert, arbeiten sie derzeit daran, es zu skalieren. Schließlich muss die Begrünung auf größere Flächen übertragbar sein, damit die Moosvorteile zum Tragen kommen. Erste Fassadengestalter haben schon Interesse angemeldet, Umsetzungsprojekte sollen bald starten. Und so duftet es vielleicht in den Städten der Zukunft bald öfter mal nach feuchtem Waldboden, statt nach Abgasen zu stinken. Graue Hausfassaden werden zu nachhaltigen, grünen Stadtböden. ■

Foto: Twilight Show/istockphoto



Moose können das

12- bis 20-Fache

ihres Eigengewichts
an Wasser aufnehmen.

Moos dient als natürliche
Klimaanlage – nicht der einzige
Grund, warum es in Zukunft
 Fassaden bewuchern sollte.

Glück ist, wenn der Bass gleichzeitig einsetzt

Satte Beats, eine mitreißende Bühnenshow, ein Meer wippender Köpfe und Tausende tanzender Füße – ein Live-Konzert ist ein Erlebnis für alle Sinne. Ein Erlebnis, das in den letzten zwei Jahren viel zu kurz gekommen ist. Das dachte sich auch ein Team aus Fraunhofer-Forschenden – und wagte ein Experiment.

Von Mandy Bartel

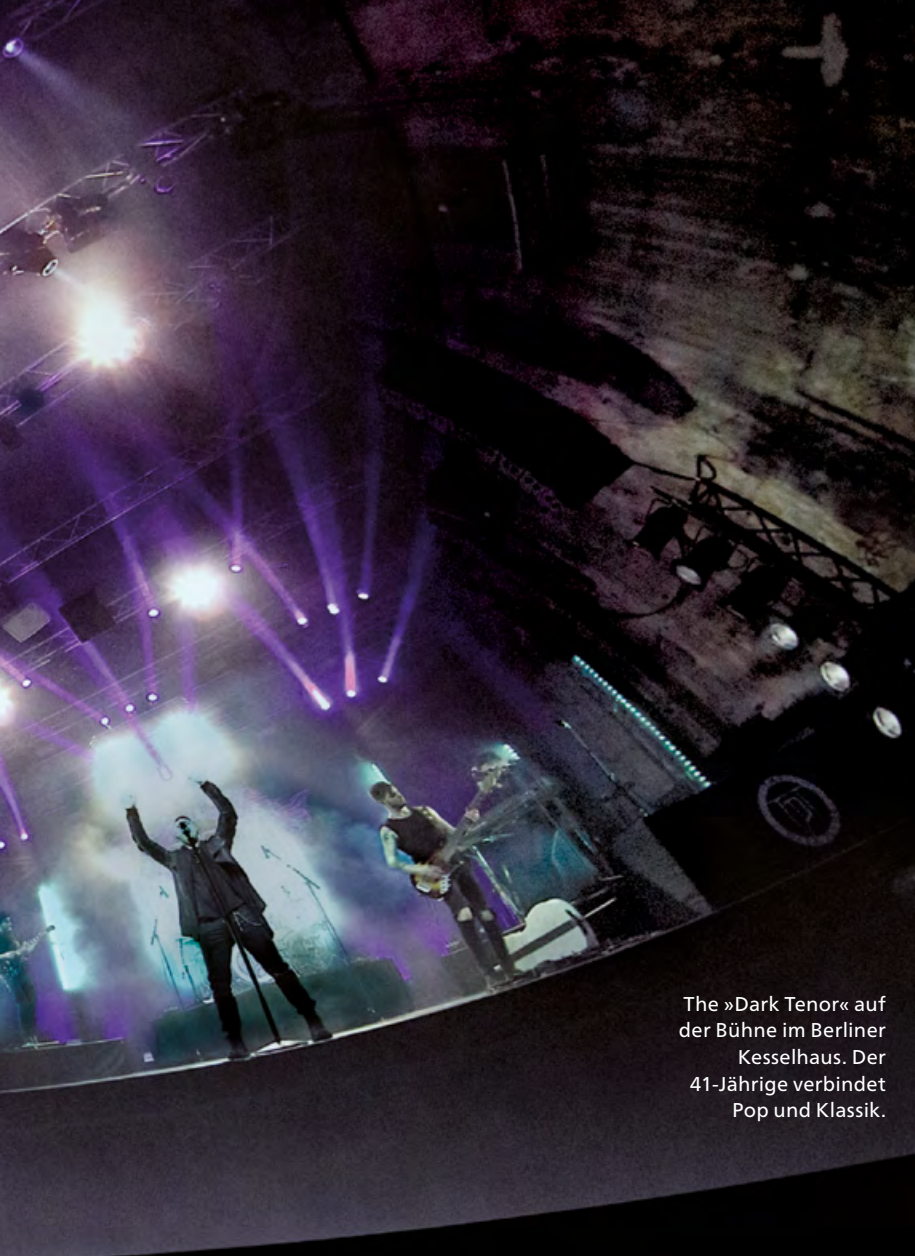
Anspannung bei Billy Andrews. Viele Monate hat der Künstler »The Dark Tenor« nicht im hellen Licht einer Bühne gestanden. Lampenfieber auch beim Technik-Team, 15 Fachleuten aus 3 Fraunhofer-Instituten. Denn die Forschenden haben nicht weniger vor, als einen Meilenstein in der Veranstaltungstechnik zu setzen: das erste hybride Live-Konzert, das sowohl Künstlerinnen und Künstler als auch Publikum an mehreren Locations mit modernsten Technologien zu einem gemeinsamen Erlebnis zusammenbringt. Monatelang haben sie an einer perfekten Konzerterfahrung gefeilt, die die Grenzen zwischen realer und digitaler Wahrnehmung verwischen soll. Wochenlang haben sie gezittert, ob die Veranstaltung wegen der zunehmend angespannten Corona-Lage überhaupt stattfinden kann.

Berlin. Kesselhaus der Kulturbrauerei. 11. Dezember 2021. 300 Fans erleben an diesem Samstagabend »The Dark Tenor« und seine Band. Die Bühnenshow wird mit einer 360°-Kamera eingefangen und zusammen mit Gän-

sehaut-3D-Sound ins 500 Kilometer entfernte Bochum immersiv auf die riesige Kuppelleinwand des Zeiss-Planetariums projiziert. Dort rocken weitere 50 Menschen mit. Verantwortlich für die 360°-Kameratechnik ist das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut HHI, für das MPEG-H-Audio-System das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, in dessen digitales Kino in Erlangen die Show ebenfalls gesendet wird. Um die Übertragung des Streams sowie dessen Projektion kümmert sich das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS. Mehr als 600 Leute aus 16 Ländern sind außerdem per low-latency Internet-Livestream zugeschaltet. Dort können sie sich in einem virtuellen Fan-Channel austauschen und ihren digitalen Applaus sowie ihre Kamerabilder auf eine Leinwand direkt ins Kesselhaus schicken.

Zusammenspiel ohne Verzögerungen

Das Highlight der Show ist die Echtzeit-Schalt in ein Treptower Tonstudio. Von dort spielen die Künstlerin-



The »Dark Tenor« auf der Bühne im Berliner Kesselhaus. Der 41-Jährige verbindet Pop und Klassik.

5
Milli-
sekunden
fürs
Zusammen-
spiel über
räumliche
Trennung
hinweg.

nen »Queenz of Piano« live gemeinsam mit »The Dark Tenor« im Kesselhaus den Song »When you roar«. Was das Publikum als eingespieltes Musizieren erlebt, ist für die Wissenschaftler eine technische Herausforderung. »Entscheidend für das Zusammenspiel war vor allem die Latenz der Audioverbindung, schließlich sollten die Musiker live zusammenspielen. Doch selbst beim heute üblichen Low Latency Streaming gibt es typischerweise Verzögerungen von 3 bis 8 Sekunden – viel zu lang für unsere Zwecke«, erklärt Robert Seeliger, Produktionsleiter für das Event und VirtualLiVe-Teilprojektleiter beim Fraunhofer FOKUS. Also setzte sein Team einige Hebel in Bewegung: Neben der Plattform Digital Stage nutzten sie Glasfaserverbindungen und neueste 5G-Technologien, separierten durch spezielle Netzkonfigurationen die IP-Verbindungen für Audio- und Videoübertragung, drehten an Streaming-Parametern und optimierten die komplette Wirkkette hinsichtlich der Latenz.

»Bei den ersten Tests im Oktober kamen wir schließlich den benötigten 30 Millisekunden Latenz bei der Au-

dioübertragung ins Studio nahe«, erinnert sich Seeliger. Dabei traten allerdings erhebliche Störeinflüsse durch andere Dienste auf der IP-Verbindung auf. »Das war ernüchternd. Damit das gemeinsame Musizieren funktionierte, mussten wir die Verzögerung noch weiter senken und insbesondere die Störeinflüsse beseitigen.« Schließlich kamen zwei speziell konfigurierte Streaming-Geräte zum Einsatz, die die Tonspuren vor Ort möglichst unverarbeitet und unkomprimiert übertragen konnten. Zudem trennte das Technik-Team gemeinsam mit dem Internetanbieter K-tel die Audio- und Videospur für die Internetübertragung, sodass diese auf zwei verschiedenen virtuellen Netzen übertragen wurden, und eliminierten sämtliche Störgrößen. Auf diese Weise erreichten sie bei der Generalprobe eine Woche vor dem Konzert schließlich die minimale Verzögerung von nur fünf Millisekunden.

Großes Interesse der Veranstaltungsbranche

Für das Publikum klang es also, als ob die zwei räumlich getrennten Künstlerinnen und Künstler gemeinsam im Kesselhaus spielen würden. Davon zeigte sich auch Billy Andrews alias »The Dark Tenor« beeindruckt: »Die Classic-RoXX-Tour-Premiere war ein voller Erfolg und hat in Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten neue Möglichkeiten geschaffen, wie Musik und Kunst trotz räumlicher Distanz über das Internet koexistieren können. Ich bin begeistert, dass die Technologie den Künstlerinnen und Künstlern bei der Interaktion hilft. Irgendwann wird sie definitiv ein integraler Bestandteil unserer Arbeit sein«, resümierte der Sänger.

Und tatsächlich erregte das Konzert als Modell für zukünftige räumlich flexible Veranstaltungen großes Interesse. Aus der Veranstaltungsbranche, aber auch von Musikhochschulen erreichten das Fraunhofer-Team zahlreiche Anfragen. Denn die Verantwortlichen suchen unter Hochdruck nach neuen Lösungen, um den Unwägbarkeiten der Pandemie – begrenzte Besucherzahlen, Reisebeschränkungen – die Stirn zu bieten. Lange müssen sie darauf nicht warten: »Weil wir auf bereits vorhandene, bewährte Technik setzen, die wir mit innovativen Technologien verknüpft haben, ist die gesamte neu entstandene Toolbox im Prinzip sofort einsetzbar«, sagt Seeliger und ergänzt: »Einzig limitierender Faktor sind die Gegebenheiten vor Ort, denn nicht jede Location eignet sich mit ihrer Internetanbindung für dieses hybride Format. Hier ist ein guter IT-Partner von Vorteil.«

Satte Beats, mitreißende Bühnenshows, wippende Köpfe und tanzende Füße – die Magie eines Live-Konzerts über Städte, Länder, Kontinente und Pandemien hinweg erleben: Die Fraunhofer-Technologien eröffnen kunstschaffenden neue Möglichkeiten und Ausdrucksformen. Ohne Abstriche in Klang und Bild. Und mit Glückshormonen, ganz wie in der Zeit vor Covid-19. ■

Ihrer schwarz-gelben Färbung verdankt die Wespenspinne ihren Namen. Das bis zu zweieinhalb Zentimeter große Tier ist in fast allen europäischen Ländern anzutreffen.



Spinnengift für die Medizin

Spinnen bereiten vielen Menschen Unbehagen, am Fraunhofer IME hingegen sind sie willkommen. Hier analysieren Forschende Spinnentoxine – eine weitgehend unerschlossene Bioressource mit großem Potenzial für die Medizin.

Von Britta Widmann

Gifttiere sind seine Leidenschaft. Spinnen und Skorpione hält Dr. Tim Lüddecke als Haustiere. Auch beruflich beschäftigt sich der Biochemiker mit den Achtbeinern: Am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen widmen sich er und sein Team vor al-

lem den bisher kaum beachteten einheimischen Spinnen und ihrem hochkomplexen Giftmix. Dabei arbeitet er eng mit Forschenden der Justus-Liebig-Universität in Gießen zusammen.

Bis zu 3000 Komponenten enthält das Gift einer einzigen Spinne. Vieles ist noch kaum erforscht – allein schon wegen dieser Vielfalt. Schließlich

sind 50 000 Spinnenarten bekannt. »Im Spinnengift steckt viel Potenzial für die Medizin, etwa bei der Erforschung von Krankheitsmechanismen«, sagt Dr. Lüddecke. Der Leiter der neuen Arbeitsgruppe »Animal Venomics« am Gießener Institutsteil Bioressourcen ist überzeugt, dass sich aus den Bestandteilen, meist Peptiden, vielversprechende Wirkstoffkandidaten für die Behandlung zahlreicher Krankheiten entwickeln lassen. Man geht davon aus, dass sich etwa mit dem Giftcocktail der Australischen Trichternetzspinne neuronale Schäden nach Schlaganfällen behandeln und Herzen für Organtransplantationen länger haltbar machen lassen. Andere Wirkstoffkandidaten sind interessant für die Anwendung als Antibiotikum oder als Schmerzmittel.

Die Forschung konzentrierte sich bislang auf die Gifte der sehr großen oder potenziell gefährlichen Arten, die in den Tropen leben. Die einheimischen, kleinen und harmlosen Spinnen standen nicht im Fokus. »Die meisten Spinnen in Mitteleuropa sind maximal zwei Zentimeter groß, ihre Giftmenge reichte für Experimente nicht aus. Doch inzwischen verfügen wir über präzise Analysemethoden, um auch die geringen Mengen der bisher vernachlässigten Mehrheit der Spinnen untersuchen zu können«, erläutert Lüddecke.

Gift der Wespenspinne entschlüsselt

Besonders interessieren sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aktuell für die Wespenspinne (*Argiope bruennichi*), die ihren Namen ihrer auffällig wespenähnlichen Färbung verdankt. Es ist ihnen gelungen, ihr Gift zu entschlüsseln, wobei sie zahlreiche neuartige Biomoleküle identifizierten. Der Vorteil: Das Gift der Wespenspinne enthält nur etwa 53 Biomoleküle. Es ist stark von hochmolekularen Bestandteilen dominiert, dazu gehören sogenannte CAP-Proteine und andere Enzyme. Wie in anderen Spinnengiften sind Knottine vorhanden – allerdings machen diese nur einen geringen Teil des gesamten Gemischs aus.

Knottine stellen eine Gruppe von neurotoxischen Peptiden dar, die aufgrund ihrer Knotenstruktur robust gegenüber chemischem, enzymatischem und thermischem Abbau sind. Man könnte diese Moleküle daher als Bestandteil von Medikamenten oral verabreichen, ohne dass sie im Magen-Darm-Trakt verdaut werden. Darüber hinaus binden Knottine spezifisch an Ionenkanäle.

»Je spezifischer ein Molekül an sein Zielmolekül andockt und nur einen einzigen Typ von Ionenkanal angreift, desto weniger Nebenwirkungen löst es aus«, erklärt Lüddecke den Vorteil. Zudem beeinflussen die Knottine schon in geringen Mengen die Aktivität der Ionenkanäle. Infolgedessen können abgeleitete Arzneien niedrig dosiert verabreicht werden. Die Kombination dieser Eigenschaften macht Spinnengifte so interessant für die Wissenschaft.

Zusätzlich entdeckten die Projektpartner im Gift der Wespenspinne Moleküle, die in ihrer Struktur Neuropeptiden ähneln. Diese sind für den Transport von Informationen zwischen den Nervenzellen verantwortlich. »Wir haben neuartige Familien von Neuropeptiden gefunden, die wir bislang von anderen Spinnen nicht kennen. Wir vermuten, dass die Wespenspinne damit das Nervensystem von Insekten angreift«, sagt der Forscher.

Geschlecht beeinflusst das biochemische Repertoire

Das Giftprofil der Wespenspinne ist inzwischen vollständig entschlüsselt. Der nächste Schritt: »Wir bauen genetisch modifizierte Bakterien, die das Toxin in großem Maßstab herstellen.« Die Hauptkomponente des Wespenspinnengifts, das CAP-Protein, konnten Lüddecke und sein Team in Serie herstellen. Erste funktionelle Studien sind bereits gestartet. CAP-Proteine sind aus vielen Tiergiften bekannt. Die der Schlangen sind Neurotoxine, die auf das zentrale Nervensystem wirken und das Opfer lähmen. Das von Zecken und parasitischen Fischen beeinflusst die Blutgerinnung. Die der Kegelschnecken wirken als Enzyme. »Doch der Wirkmechanismus der CAP-Proteine der Wespenspinne ist völlig unbekannt«, erläutert Lüddecke, »daher müssen wir sie in Großserie produzieren.«

Die Dynamik des Spinnengifts wurde bislang unterschätzt. »Das biochemische Repertoire wird entscheidend vom Lebensabschnitt, Lebensraum und vor allem vom Geschlecht beeinflusst. Durch ihre Wechselwirkungen steigern die Komponenten ihre Wirksamkeit.«

Spinnengift als Hoffnung im Kampf gegen Krankheiten des Zentralen Nervensystems.
Hier geht's zum Video:



»Wir bauen genetisch modifizierte Bakterien, die das Toxin in großem Maßstab herstellen.«

Dr. Tim Lüddecke,
Fraunhofer IME



Dr. Tim Lüddecke bei der Arbeit. Der Leiter der Arbeitsgruppe »Animal Venomics« ist überzeugt, dass Spinnengifte als Wirkstoffkandidaten für die Medizin größtes Potenzial besitzen.

Viren, die heilen

Viren und Immunabwehr als Verbündete im Kampf gegen Krebs? Klingt ziemlich verrückt. Doch das ungewöhnliche Duo ist erfolgreich – und ein großer Hoffnungsträger in der Tumor-Therapie.

Von Dr. Sonja Endres

Nur mit dem Elektronenmikroskop zu erkennen: Herpesviren (blau-gelb), die eine Zelle (gelb-braun, unten rechts) infizieren. Die virale DNA kapert die Zelle und verwandelt sie in eine Virusproduktionsmaschine.



An Schlichtheit sind Viren kaum zu unterbieten: ein bisschen Erbgut umhüllt von Proteinen und Lipiden, 20 bis 200 Nanometer klein, nur mit dem Elektronenmikroskop zu erkennen. Doch ihre Fähigkeit, lebende Zellen zu entern und sie für ihre Vermehrung zu missbrauchen, macht Viren einzigartig. Häufig zerstören sie dabei ihre Wirtszellen. Dann werden Tiere und Menschen krank – oder gesund: Prof. Susanne Bailer und ihrem Team am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB ist es gelungen, das Herpes-simplex-Virus Typ 1 gentechnisch so zu verändern, dass es als wirkungsvolle Waffe gegen Tumorzellen eingesetzt werden kann.

Das Herpesvirus ist bekannt für die schmerzenden, unansehnlichen Bläschen, die es auf der Lippe hervorruft. Vor allem bei Menschen mit geschwächter Immunabwehr können Herpesviren aber auch eine Hirnentzündung auslösen. Bailer, die am Fraunhofer IGB das Innovationsfeld »Virus-basierte Technologien« leitet, ist ein Kunststück gelungen: Sie schaltete die Gene des Virus, die Krankheit verursachen, aus – und machte es damit für die Therapie nutzbar.

Ein Virus mit viel Speicherkapazität

Das Erbmaterial des Herpesvirus besteht aus DNA, nicht aus RNA wie beispielsweise beim Coronavirus SARS-CoV-2. »Das DNA-Genom ist wesentlich größer als das RNA-Genom, das heißt, es lassen sich zahlreiche zusätzliche Gene dort unterbringen. Wenn wir das Virus umprogrammieren wollen, haben wir also einen großen Speicher zur Verfügung«, erklärt Bailer, die bereits seit 20 Jahren an Herpesviren forscht. Ein weiterer Vorteil: Die grundlegenden Technologien, mit denen sich Herpesviren gentechnisch verändern lassen, sind bereits vorhanden. Befördert von der Corona-Impfstoffentwicklung hat die Forschung hier in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Der AstraZeneca-Impfstoff basiert auf Adenoviren, die bei Schimpansen Erkältungen

auslösen, für den Menschen aber harmlos sind. Die modifizierten Viren schleusen die nötigen Informationen für den Aufbau von Impfantigenen in menschliche Zellen, woraufhin SARS-CoV-2-spezifische Antikörper gebildet werden. Generell, so glaubt Bailer, habe der Erfolg von AstraZeneca die Forschung an gentechnisch veränderten Viren bestärkt und frühere Vorbehalte weitgehend ausgeräumt.

Bailer und ihrem Team gelang es, die gentechnischen Verfahren zur Manipulation der Herpesviren zu verbessern. So konnten sie eine Zielsteuerung einprogrammieren. »Diese sorgt dafür, dass unsere Viren, die wir direkt in den Tumor injizieren, in Krebszellen eindringen und nicht in gesunde. Dort vermehren sie sich und bringen die Zellen zum Platzen.« Dabei werden Tu-

»Das Immunsystem ist unsere stärkste Waffe gegen den Krebs. Mithilfe unseres Virus und den freigesetzten Tumormarkern wollen wir es zielgerichtet stimulieren, sodass der Körper sich quasi selbst therapieren kann.«



Prof. Susanne Bailer,
Fraunhofer IGB

mormarker frei, die das körpereigene Immunsystem im Kampf gegen den Krebs in Stellung bringen. »Zusätzlich aktivieren wir die Immunabwehr mit spezifischen Proteinen, die unsere Viren bei der Reproduktion abgeben. Das Immunsystem erkennt daraufhin die Tumorzellen und eliminiert sie.« Bailer hofft, so auch unentdeckte Metastasen abseits des Tumor-

herdes bekämpfen zu können. »Das Immunsystem ist unsere stärkste Waffe gegen den Krebs. Mithilfe unseres Virus und den freigesetzten Tumormarkern wollen wir es zielgerichtet stimulieren, sodass der Körper sich quasi selbst therapieren kann.«

Erste Erfolge gegen Lungenkrebs

Erste präklinische Tests mit dem sogenannten onkolytischen Virus führte das Team des Fraunhofer IGB im Projekt TheraVision durch, in Kooperation mit den Fraunhofer-Instituten für Zelltherapie und Immunologie IZI, für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM und für Silicatforschung ISC. Die Forscherinnen und Forscher spezifizierten das Virus zur Therapie des nicht-kleinzelligen Lungenkarzinoms. Die Sterblichkeit bei dieser Krebsart ist hoch. Nur 22 Prozent aller Patientinnen und 17 Prozent aller Patienten überleben die ersten fünf Jahre nach der Diagnose Lungenkrebs, beim nicht-kleinzelligen Karzinom ist die Prognose wegen seiner frühen Metastasenbildung noch schlechter.

Die Ergebnisse der Studien sind vielversprechend. Die Tumorzellen wurden zuverlässig zerstört, auch bei Metastasen scheint die Virus-Immuntherapie anzuschlagen. »Das müssen wir allerdings noch weiter untersuchen«, räumt Bailer ein. Noch ist es für eine klinische Erprobung zu früh. Die Voraussetzungen dafür sind jedoch gut, denn das Herpes-simplex-Virus bietet gegenüber anderen Viren einen weiteren entscheidenden Vorteil: Es gibt eine Art »Notbremse«. Wenn es bei der Therapie von geschwächten Krebspatientinnen und -patienten zu unvorhergesehenen Nebenwirkungen kommen sollte, lässt sich die Vermehrung der Viren zuverlässig mit einem seit fast 50 Jahren erprobten, äußerst wirksamen Virostatikum stoppen.

Vor dem Einsatz in der Klinik sind aber weitere Studien notwendig: »Wir müssen die Wirkmechanismen besser verstehen, um das volle Potenzial der Virus-Immuntherapie zu heben. In jedem Fall haben wir jetzt eine Virusplattform-Technologie entwickelt, die zukünftig auch für andere Tumorarten eingesetzt werden kann.« ■

80 000 Umdrehungen für die Energiewende

Die Geothermie verspricht unbegrenzt umweltfreundliche Wärme aus dem Erdinneren. Doch das Risiko von Fehlbohrungen ist hoch und macht die Technologie teuer – bis heute.

Von **Mehmet Toprak**

Die Mikro-Bohrturbine ist nur rund 10 Zentimeter lang und 3,6 Zentimeter im Durchmesser. Trotzdem hat sie das Zeug, die Investitionsfreude in Geothermie-Anwendungen erheblich zu steigern. Das Problem bisher: Fast ein Drittel der tiefen Geothermie-Bohrungen wird nicht fründig. Die an der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG in Bochum entwickelte Turbine ermöglicht es, auch das Umfeld einer Bohrung nach heißen Thermalwässern in mehreren Tausend Metern Tiefe zu erschließen – und reduziert so das Risiko nichts zu finden erheblich. Das Wasser ist hier bis zu 200 Grad heiß und eine Bohrung daher besonders lohnenswert. Nach oben befördert kann es ganze Stadtviertel mit Wärme und sogar Strom versorgen. »Bohrungen in einer Tiefe von bis zu 5000 Metern kosten mehrere Millionen Euro. Wenn der Betreiber mit einer Bohrung anfangs danebenliegt, kann Micro Turbine Drilling die Rettung sein«, sagt Niklas Geißler, Forscher am Fraunhofer IEG. Zusammen mit seinem Team hat er das Micro Turbine Drilling, kurz MTD, entwickelt. Herzstück ist die neue Mikro-Bohrturbine.

Die Idee: Die Mikro-Turbine, die mit einem speziellen Bohrmeißel ausgestattet ist, wird an einem Schlauch durch ein Gestänge nach unten in die Bohrung geführt. Ein sogenannter Ablenkschuh am Ende des Gestänges führt die kleine Turbine in einem 45-Grad-Winkel nach

außen. Dabei durchdringt sie mit bis zu 80 000 Umdrehungen pro Minute sowohl die Stahlverrohrung des Bohrlochs als auch Hartgesteine wie Granit. Akustische Signale, die unter anderem durch Trigger-Elemente im Bohrloch ausgelöst werden und sich über das Gestänge bis an die Oberfläche fortpflanzen, dienen dem Technikteam als Kontrolle.

Der Gesamtbedarf an Wärmeenergie wird in Deutschland für die kommenden Jahre auf ca. 1400 Terawattstunden jährlich geschätzt.

Bis zu 50 Meter soll sich die Turbine in Zukunft durchs Gestein fräsen. Um die Umgebung vollständig zu erkunden und noch mehr Thermalwasser zu gewinnen, kann der Betreiber mehrere Bohrungen sternförmig um das Hauptbohrloch ansetzen.

Im Jahr 2020 stammten bereits rund neun Prozent der regenerativ erzeugten Wärme aus oberflächennaher Geothermie.



Wer heißes Thermalwasser nutzen will, muss bis zu 5000 Meter tief bohren.

Mit dem Ausbau der tiefen Geothermie ließe sich der Anteil in Zukunft deutlich steigern und die Energiewende beschleunigen. Dabei hat die Geothermie einen entscheidenden Vorteil: Sie ist grundlastfähig. »Das heißt, unabhängig von Witterung, Sonnenstand oder Jahreszeit fördern die Anlagen 365 Tage im Jahr, Tag und Nacht konstant Heißwasser«, erklärt Geißler. Außerdem sind die Anlagen klein und lassen sich in einem Gebäude unterbringen, das sich unauffällig in ein Stadtviertel integrieren lässt. Das Wesentliche geschieht unterirdisch.

Der Gesamtbedarf an Wärmeenergie wird in Deutschland für die kommenden Jahre auf ca. 1400 Terawattstunden jährlich geschätzt. »Wenn es uns gelingt, hydrothermale Lagerstätten noch besser zu erschließen und beispielsweise in Fernwärmesysteme und Industrieprozesse einzubinden, könnte die Geothermie alleine in diesen Bereichen mindestens 300 Terawattstunden abdecken. Hinzu kommen die ebenso hohen Potenziale der Oberflächengeothermie für die Objekt- und Quartiersversorgung«, schätzt Prof. Rolf Bracke, Institutsleiter am Fraunhofer IEG. ■

Geothermie – Die dritte Dimension des Bohrens
Die Fraunhofer-Forscher Niklas Geißler und Prof. Rolf Bracke haben eine Audioaufnahme mitgebracht – aus mehr als 300 Metern Tiefe.
Hier geht's zum Podcast:



Staffellauf des Wissens

***Ressourcen-
strategie***

Energiewende

80 000 Umdrehungen für die Energiewende

Die Geothermie verspricht unbegrenzt umweltfreundliche Wärme aus dem Erdinneren. Doch das Risiko von Fehlbohrungen ist hoch und macht die Technologie teuer – bis heute.

Von Mehmet Toprak

Die Mikro-Bohrturbine ist nur rund 10 Zentimeter lang und 3,6 Zentimeter im Durchmesser. Trotzdem hat sie das Zeug, die Investitionsfreude in Geothermie-Anwendungen erheblich zu steigern. Das Problem bisher: Fast ein Drittel der tiefen Geothermie-Bohrungen wird nicht fündig. Die an der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG in Bochum entwickelte Turbine ermöglicht es, auch das Umfeld einer Bohrung nach heißen Thermalwässern in mehreren Tausend Metern Tiefe zu erschließen – und reduziert so das Risiko nichts zu finden erheblich. Das Wasser ist hier bis zu 200 Grad heiß und eine Bohrung daher besonders lohnenswert. Nach oben befördert kann es ganze Stadtviertel mit Wärme und sogar Strom versorgen. »Bohrungen in einer Tiefe von bis zu 5000 Metern kosten mehrere Millionen Euro. Wenn der Betreiber mit einer Bohrung anfangs danebenliegt, kann Micro Turbine Drilling die Rettung sein«, sagt Niklas Geißler, Forscher am Fraunhofer IEG. Zusammen mit seinem Team hat er das Micro Turbine Drilling, kurz MTD, entwickelt. Herzstück ist die neue Mikro-Bohrturbine.

Die Idee: Die Mikro-Turbine, die mit einem speziellen Bohrmeißel ausgestattet ist, wird an einem Schlauch durch ein Gestänge nach unten in die Bohrung geführt. Ein sogenannter Ablenkschuh am Ende des Gestänges führt die kleine Turbine in einem 45-Grad-Winkel nach

außen. Dabei durchdringt sie mit bis zu 80 000 Umdrehungen pro Minute sowohl die Stahlverrohrung des Bohrlochs als auch Hartgesteine wie Granit. Akustische Signale, die unter anderem durch Trigger-Elemente im Bohrloch ausgelöst werden und sich über das Gestänge bis an die Oberfläche fortpflanzen, dienen dem Technikteam als Kontrolle.

Der Gesamtbedarf an Wärmeenergie wird in Deutschland für die kommenden Jahre auf ca. 1400 Terawattstunden jährlich geschätzt.

Bis zu 50 Meter soll sich die Turbine in Zukunft durchs Gestein fräsen. Um die Umgebung vollständig zu erkunden und noch mehr Thermalwasser zu gewinnen, kann der Betreiber mehrere Bohrungen sternförmig um das Hauptbohrloch ansetzen.

Im Jahr 2020 stammten bereits rund neun Prozent der regenerativ erzeugten Wärme aus oberflächennaher Geothermie.



Wer heißes Thermalwasser nutzen will, muss bis zu 5000 Meter tief bohren.

Mit dem Ausbau der tiefen Geothermie ließe sich der Anteil in Zukunft deutlich steigern und die Energiewende beschleunigen. Dabei hat die Geothermie einen entscheidenden Vorteil: Sie ist grundlastfähig. »Das heißt, unabhängig von Witterung, Sonnenstand oder Jahreszeit fördern die Anlagen 365 Tage im Jahr, Tag und Nacht konstant Heißwasser«, erklärt Geißler. Außerdem sind die Anlagen klein und lassen sich in einem Gebäude unterbringen, das sich unauffällig in ein Stadtviertel integrieren lässt. Das Wesentliche geschieht unterirdisch.

Der Gesamtbedarf an Wärmeenergie wird in Deutschland für die kommenden Jahre auf ca. 1400 Terawattstunden jährlich geschätzt. »Wenn es uns gelingt, hydrothermale Lagerstätten noch besser zu erschließen und beispielsweise in Fernwärmesysteme und Industrieprozesse einzubinden, könnte die Geothermie alleine in diesen Bereichen mindestens 300 Terawattstunden abdecken. Hinzu kommen die ebenso hohen Potenziale der Oberflächengeothermie für die Objekt- und Quartiersversorgung«, schätzt Prof. Rolf Bracke, Institutsleiter am Fraunhofer IEG. ■

Geothermie – Die dritte Dimension des Bohrens
Die Fraunhofer-Forscher Niklas Geißler und Prof. Rolf Bracke haben eine Audioaufnahme mitgebracht – aus mehr als 300 Metern Tiefe.

Hier geht's zum Podcast:



Staffellauf des Wissens

***Frau Prof. Anke
Weidenkaff,
welche Ressourcen-
strategie benötigt
die globale
Energiewende?***

Staffellauf des Wissens, Folge 4

Frau Prof. Anke Weidenkaff, welche Ressourcenstrategie benötigt die globale Energiewende?

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. Anke Weidenkaff**, Leiterin der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS, auf eine Frage von **Prof. Hans-Martin Henning**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE.

Eine globale Energiewende bedeutet, die Energieversorgung auf der ganzen Welt zugänglich, sicher, emissionsfrei und nachhaltig zu gestalten. Das Ziel ist, die Emissionen bis 2050 drastisch zu reduzieren. Der globale Temperaturanstieg muss auf 1,5 °C begrenzt werden.

Dafür sind erneuerbare Energien und die Transformation aller Sektoren (Verkehr, Immobilien, Produktion) notwendig. Damit verbunden ist der Einsatz neuer High-End-Technologien, wobei sich der hierfür notwendige Bedarf an wertvollen Rohstoffen bis 2050 verdreifachen wird. Schon heute stehen viele dieser Materialien auf der Liste kritischer Rohstoffe, noch weitere werden im Laufe der Energiewende hinzukommen. Es wird keine neuen Ressourcen geben, und wir müssen mit der Materie haushalten, die auf der Erde zu finden ist. Der Fokus sollte vermehrt auf die Wiederverwendung der Stoffe gelegt werden. Um die Rohstoffversorgung zu sichern, ist folglich das Recycling und das Führen unserer Ressourcen in einem geschlossenen Kreislauf notwendig. Doch wo sollten wir anfangen?

Die Recyclingraten müssen weiter gesteigert werden. Wichtig dafür ist das Analysieren des gesamten Lebenszyklus eines Produkts. Die Rohstoffgewinnung und -nutzung ist in



Prof. Anke Weidenkaff leitet die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS.

einem ganzheitlichen Systemansatz zu betrachten. So werden Materialien bereits im Entwicklungsprozess nach technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten bewertet. In der Produktionsphase können wir durch Stoffstromanalysen Ressourceneinsparpotenziale identifizieren. Außerdem sollten wir die Schließung von Produktkreisläufen bis hin zum Recycling bereits in der Design- und Entwicklungsphase mitbetrachten und eine effektive Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen ermöglichen.

Eine Schlüsselrolle wird grüner Wasserstoff spielen

Eine vollständige Kreislaufführung ist auch vor dem Hintergrund von stofflichen Emissionen in die Umwelt erforderlich. Schon in den ersten Produktionsschritten entstehen schädliche Emissionen und Nebenprodukte, die in unserer Umwelt großen Schaden anrichten können. Die planetare Grenze der chemischen Verschmutzung, eine von neun planetaren Grenzen, ist wahrscheinlich bereits überschritten. Genaue

Werte sind schwierig zu definieren, da die Messung der Konzentrationen in Umwelt und Mensch komplex ist. Die planetaren Grenzen bedingen sich gegenseitig, z. B. hängen die chemischen Verschmutzungen mit dem Klimawandel zusammen. Dieser wiederum ist eng verknüpft mit der Energie- und Verkehrswende.

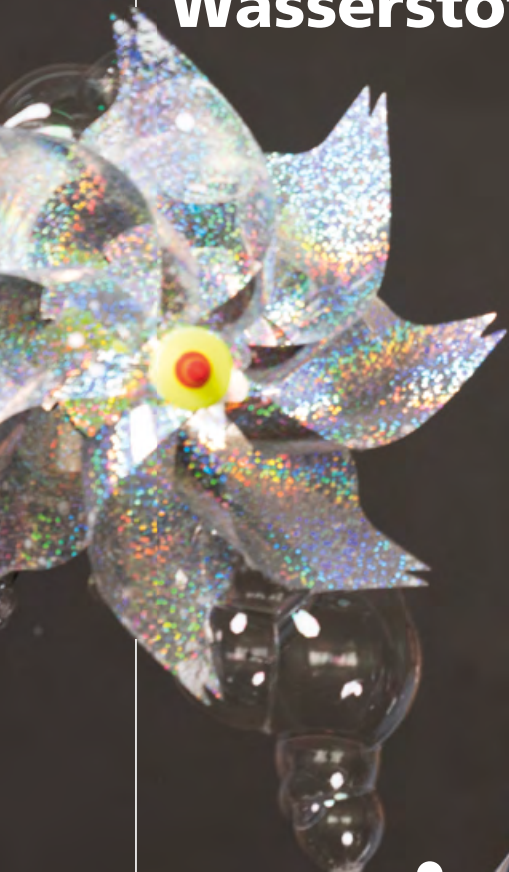
Eine Schlüsselrolle bei der globalen Energiewende wird grüner Wasserstoff spielen. Das Gas eignet sich als Speichermedium für volatilen Strom aus Wind und Sonne oder direkt als Kraftstoff. Somit kann Wasserstoff maßgeblich zur Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr oder auch Wärmeerzeugung beitragen. Schon jetzt kommen viele Technologien zum Einsatz, mit denen grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energien hergestellt werden kann. Auch für das Speichern und das sichere Transportieren des Gases gibt es schon nachhaltige Lösungsansätze. Brennstoffzellen ermöglichen wiederum die Rückverstromung. Neue Materialien sollen nicht nur die neuen Funktionen in Energiewandlern und Nachhaltigkeitsanwendungen erfüllen, sondern auch selber nachhaltig und sicher sein. ■

Es wird **keine neuen Ressourcen geben**, und wir müssen mit der **Materie haushalten, die auf der Erde zu finden ist**. **Der Fokus** sollte vermehrt auf die **Wiederverwendung der Stoffe** gelegt werden.

In der nächsten Ausgabe:

Bei **Wasserstoff** denken viele an die **Knallgasreaktion** – wie sicher sind die neuen Technologien?


Wasserstoff



Winds of Change

Grüner Wasserstoff soll entscheidend dazu beitragen, dass Deutschland seine Klimaziele erreicht. Noch wird das Gas viel zu wenig »grün« produziert. Um das zu ändern, entwickeln die Forschenden an mehreren Fraunhofer-Instituten im Projekt H₂Wind Elektrolyseure, die Wasserstoff dort herstellen sollen, wo immer viel Wind herrscht: auf dem Meer.

Von Beate Strobel, Fotografie: Christian Burkert



Wasserstoff als Energy-Drink für die Industrie: Dr. Ulrike Beyer leitet die TaskForce Wasserstoff am Fraunhofer IWU, Mark Richter das Geschäftsfeld »Klimaneutraler Fabrikbetrieb«.

1. Das Projekt

Den Wind auf dem Meer einfangen und seine Energie in Strom umwandeln? Die Idee hat viel Überzeugendes. Die Vorteile gegenüber dem Landwind: Fern der Küsten weht er nicht nur stärker, sondern auch sehr viel stetiger. Offshore-Anlagen produzieren deshalb im Schnitt doppelt so viel Energie wie ihre Pendanten und tragen erheblich bei zur Verlässlichkeit der erneuerbaren Energien. Außerdem gibt es in den Ozeanen keine Anwohner, die sich über den Lärm der Rotoren beschweren, oder Bürgerinitiativen, die auf Abstand zum Ortskern pochen. Und damit weniger Rechtsverfahren, die den Ausbau der Windenergie abbremsen. Viel Rückenwind also – einerseits. Auf der anderen Seite ist die Netzanbindung von Offshore-Windparks eine technische Herausforderung. Die langen Wege, die der Strom bis an Land zurücklegen muss, schlagen sich in Übertragungsverlusten nieder. Wenn aber, laut Nationaler Wasserstoffstrategie der Bundesregierung, grüner Wasserstoff (H₂) eine Schlüsselfunktion für die deutsche Energiewende einnehmen soll, warum dann die Wasserstoff-Produktion nicht gleich dorthin verlegen, wo sich Wasser und Windenergie verbinden?

Das Leitprojekt H₂Mare des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) untersucht genau diese Möglichkeit. Die direkte Kombination von Windkraftanlage und Elektrolyseur – jener Vorrichtung, in der Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird – hat das Potenzial, die Kosten der H₂-Herstellung deutlich zu senken und das Element somit für viele Anwendungsmöglichkeiten nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch interessant zu machen.

Neben Siemens Energy ist die Fraunhofer-Gesellschaft Hauptkoordinator des Großvorhabens H₂Mare. Eines der vier Unterprojekte ist das mit 3,5 Millionen Euro vom Bund geförderte Vorhaben H₂Wind. Im Zentrum steht dabei ein kompakter Elektrolyseur, der direkt in eine

Windkraftanlage integriert werden kann. Doch bis das so weit ist, müssen noch viele Fragen geklärt werden. Wie muss so ein Elektrolyseur beschaffen sein, um in der rauen Offshore-Umgebung bestehen zu können? An welcher Stelle lässt er sich am besten in die Anlage einbauen? Wie muss das Meerwasser aufbereitet werden, um als Ausgangssubstanz für Wasserstoff zu dienen? Wie lässt sich der offshore produzierte Wasserstoff speichern und an Land transportieren?

Dr. Ulrike Beyer leitet seit zwei Jahren die TaskForce Wasserstoff am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. »Fraunhofer steht an

»Fraunhofer ist in der Lage, einen schnellen Markthochlauf zu gewährleisten.«

Dr. Ulrike Beyer,
Fraunhofer IWU

der Schnittstelle zwischen universitärer Grundlagenforschung und der Industrie. Und ist dadurch vor allem in der Lage, den aktuellen Forschungsstand aufzugreifen, zielgerichtet zu modifizieren und einen schnellen Markthochlauf zu gewährleisten«, sagt die promovierte Wirtschafts- und Maschinenbauingenieurin.

Zeit spielt eine große Rolle bei H₂Wind. 2021 gestartet, sollen bereits 2025 Lösungen für Offshore-Elektrolyseure präsentiert werden. Eine Frist, die Beyer für

ambitioniert, aber machbar hält: »Das Thema Wasserstoff treibt uns bei Fraunhofer nicht nur beruflich, sondern auch persönlich voran. Dafür geht man auch schon mal in den anaeroben Bereich, wenn nötig«, nimmt die 51-Jährige die Herausforderung sportlich. Und sie freut sich nicht nur für ihr Institut mit den Standorten in Chemnitz, Dresden, Wolfsburg und Zittau: »Wir sehen in der Region Sachsen viele gerade kleine und mittelständische Unternehmen, die bislang im Kfz-Bereich als Zulieferer tätig sind. Mit Blick auf die kommende E-Mobilität suchen alle jetzt nach neuen Geschäftsfeldern. Hier stehen wir in der Verantwortung, indem wir diese Felder für die Industrie vorbereiten.«

Wasserstoff galt lange als der Champagner der Energiewende. Jetzt geht es darum, ihn zum Energy-Drink für die Industrie zu machen. »Im Bereich Elektrolyseur ist momentan nahezu alles Manufaktur«, sagt Mark Richter, Leiter des Geschäftsfeldes »Klimaneutraler Fabrikbetrieb« am Fraunhofer IWU. »Wir müssen deshalb die massenmarktaugliche Produktion der kompletten Systeme in industriellem Maßstab hinbekommen. Erst dann sinken die Preise. Und von da an wird Wasserstoff eine echte Option für die Industrie.« Es gelte, ergänzt Beyer, einen »Volks-Elektrolyseur« zu erschaffen: funktional und günstig.

Für Fraunhofer sei H₂ weit mehr als ein Hype-Thema, konstatiert Mark Richter: »Es ist ein strategisch wichtiges und auch nachhaltiges Forschungsfeld, in dem wir nicht nur Zukunft gestalten, sondern uns auch selbst konstant weiterentwickeln können.« Neben dem Fraunhofer IWU sind die Fraunhofer-Institute für Windenergiesysteme IWES, für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS, für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und für Chemische Technologie ICT in H₂ Wind eingebunden. »Das Thema Wasserstoff diffundiert nahezu durch die gesamte Fraunhofer-Welt, fast jeder kann sich hier einbringen«, so Beyer. Und das, ergänzt Mark Richter, »ist ein cooler Drive, das macht Spaß. Das muss man auch mal sagen.«

2. Das Material

Das Prinzip der Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff durch Strom ist mehr als 200 Jahre alt. Heute wird dies in der Regel über sogenannte PEM-Elektrolyse (Proton Exchange Membran) erreicht. Kernkomponenten sind dabei die zu Stapeln (»Stacks«) geschichteten Elektrolysezellen, die wiederum aus zwei zentralen Komponenten – den Bipolarplatten (BPP) und der Membran-Elektroden-Einheit (Membrane Electrode Assembly, MEA) bestehen. BPP stellen die elektrische Verbindung und den Transport zwischen den Zellen sowie zur und von der MEA sicher, an der die Wasserspaltung stattfindet.

Bipolarplatten werden üblicherweise aus speziellen Edelstählen, Graphit, Titan gefertigt und zusätzlich mit einer Edelmetall-Beschichtung – etwa Gold oder Platin – vor Korrosion geschützt. Das Material und Design der Bipolarplatten ist mitentscheidend für Wirkungsgrad, Wartungsanfälligkeit, Funktionalität und Lebensdauer des Elektrolyseurs. Und all das wiederum ist maßgeblich für die Funktion und Rentabilität eines künftigen Offshore-Elektrolyseurs – weitab vom Land unter extremen Bedingungen.

Die Materialfrage steht im Zentrum der Aufgabenbeschreibung von Wolfram Münchgesang vom Fraunhofer IWES. Der promovierte Physiker ist bei H_2 Wind eine Art Koordinator zwischen dem, was auf Laborebene herausgefunden wird über die Zusammenhänge zwischen Stack-Beschaffenheit und den speziellen Offshore-Anforderungen, der Entwicklung eines Forschungsstacks auf Testebene sowie der Übertragung der Labor- und Testergebnisse auf die industrielle Anwendung. Oder wie es Münchgesang ausdrückt: »Ich bringe die Informationen zusammen, bündle sie und versuche, daraus ein wissenschaftliches Gesamtbild zu entwickeln.«

Auch wenn das Prinzip und die einzelnen Komponenten eines Elektrolyseurs lange bekannt sind, betritt die Wissenschaft mit der Entwicklung eines Offshore-

Elektrolyseurs Neuland. Welche Auswirkungen hat es, wenn die Windkraft ganz direkt die für die Wasserspaltung benötigte Energie bereitstellt? Welchen besonderen Belastungen ist das Material offshore ausgesetzt? Wie werden sich etwa Vibrationen oder die mechanische Belastung auswirken auf die Lebensdauer der diver-

diese und skalieren sie schließlich für die industrielle Anwendung«, erklärt Münchgesang pragmatisch. Bis dann spätestens 2025 eine möglichst ideale Vorrichtung existiert, die Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet. Im Prinzip also so wie vor mehr als 200 Jahren. Nur eben auf dem Meer. Und damit zukunftsweisend.



»Wir gestalten funktionierende Konzepte für den Offshore-Betrieb und skalieren sie schließlich für die industrielle Anwendung.«

Wolfram Münchgesang, Fraunhofer IWES

sen Bestandteile? Werden nach der Entsalzung des Meerwassers noch Ionen im Wasser sein, die sich im Stack oder anderswo im Elektrolyseur anreichern und dessen Funktion beeinträchtigen könnten? Für all diese Fragen gibt es noch keine standardisierten Testprofile, keine gültigen Skalen. Und weil auf hoher See nicht mal schnell ein Techniker die Anlage warten kann, muss die Materialqualität hoch sein, um der Dynamik eines Offshore-Standorts standzuhalten.

Das Rad dabei neu zu erfinden, ist nicht geplant – schon aus Zeit- und Kostengründen. »Wir gestalten funktionierende Konzepte für den Offshore-Betrieb, testen

3. Der Speicher

Deutsche Offshore-Windparks stehen durchschnittlich 58 Kilometer entfernt von der Küste. Der Strom wird in der Regel über im Meeresboden verlegte Seekabel an Land transportiert. Doch wie lässt sich der künftig offshore produzierte Wasserstoff dorthin bringen, wo er gebraucht wird?

Sebastian Schmidt, Projektleiter am Fraunhofer Hydrogen Lab in Görlitz, entwickelt für H_2 Wind gemeinsam mit den Projektpartnern Siemens, Mannesmann und weiteren Fraunhofer-Instituten einen für den Offshore-Einsatz geeigneten Röhrenspeicher und wird daran dann ▶

»Wir setzen Standards und gestalten Zukunft.«

Sebastian Schmidt,
Fraunhofer Hydrogen Lab, Görlitz



verschiedene Nutzungs-Szenarien testen. »Beim Prüfstand wird es vor allem darum gehen, ein Alterungsverhalten zu simulieren durch Be- und Entladung des Speichers in schneller Abfolge«, erklärt der studierte Mechatroniker. Oder anders ausgedrückt: »Verdichteten Wasserstoff reinfüllen, verdichten und wieder ablassen.« Und das immer und immer wieder, als Härtestest für die Zukunft.

Ein Röhrenspeicher, so Sebastian Schmidt, sei dabei eigentlich nichts anderes als eine spezielle Variante der Pipeline: »Man nimmt ein Pipeline-Rohr, das sich bereits für den Transport von H_2 bewährt hat, vergrößert den Durchmesser und schweißt links und rechts einen Deckel dran.« Klingt einfach, ist es aber nicht. Denn die Einzelteile eines solchen Speichers müssen wohl offshore und unter Wasser zusammengeschweißt werden, und das mit maximaler Genauigkeit, um eine möglichst lange Funktionsfähigkeit und sichere Aufbewahrung des Gases zu gewährleisten. Als gelernter Schweißer

weiß Schmidt, dass dies keine leichte Aufgabe sein wird.

Zudem herrschen auf See andere Umgebungsbedingungen als an Land, auch darauf müssen Material und Verarbeitung des Röhrenspeichers ausgelegt sein. Korrosion durch Salzwasser ist hierbei ein besonderes Thema. Selbstverständlich geht es bei der Speicherung von Wasserstoff sowie dem Transport an Land – ob nun per Schiff oder Pipeline – neben Qualität und Sicherheit auch um die Kosten. Wie wichtig dieser Faktor ist, erlebt jeder Verbraucher aktuell beim Heizen und Tanken. Die Energie der Zukunft muss bezahlbar sein. »Die für den Offshore-Einsatz neu entwickelten Techniken sollen nicht nur möglichst automatisiert funktionieren, sondern auch robust, überschaubar und günstig sein«, fasst es Schmidt zusammen. Wenn sich die Kosten für die Wasserstoffherstellung nicht bald reduzieren lassen, »ist der große Wasserstoffplan der Bundesregierung in Gefahr, weil die Industrie den Umstieg in der Breite nicht finanzieren kann«.

Auch wenn es immer noch viele Unwägbarkeiten gibt beim Thema Wasserstoff: Für einen Wissenschaftler sei es »ein echter Glücksgriff«, in dieser Phase mit an Bord zu sein, findet Schmidt: »Wir setzen Standards und gestalten Zukunft.« Was kann man sich als Forscher mehr wünschen?

4. Das Wasser

Wer grünen Wasserstoff herstellen will, braucht Wasser und grüne Energie. Auch das macht die Idee einer Offshore-Elektrolyse so bestechend, schließlich herrscht auf dem Meer kein Mangel daran. Für die Herstellung von Wasserstoff im industriell benötigten Maßstab müssten also nicht die kostbaren Süßwasser-Vorräte herangezogen werden. Die Herausforderung liegt dabei allerdings im Detail: Das salzige Meerwasser könnte das Kernstück des Elektrolyseurs – den Stack – nachhaltig schädigen. Das würde nicht nur die Qualität des hergestellten Wasserstoffs spürbar mindern, sondern auch das Wartungsproblem von Offshore-Anlagen verschärfen und die Lebensdauer des Elektrolyseurs deutlich verkürzen.

Idealerweise muss also das reichlich vorhandene Meerwasser vor Verwendung aufbereitet werden. Das jedoch verbraucht viel Energie und verschlechtert somit die Nachhaltigkeit und Effizienz der Wasserstoff-Produktion. Was tun?

Fragestellungen wie diese haben Chemieingenieur Henner Heyen direkt nach seinem Studium an der TU Berlin an das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES gebracht. Windenergie zu nutzen für die Herstellung von grünem Wasserstoff – diese Idee reizte ihn, am Hydrogen Lab Bremerhaven mitzuwirken. Dass nun mit Leuna und Görlitz zwei Standorte zum Fraunhofer IWES hinzugekommen sind, die entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette forschen, ermöglicht neue spannende Chancen, zukünftige Forschungsfragen gemeinsam zu bearbeiten.

Als Projektleiter ist Henner Heyen nun innerhalb von H₂Wind für ein Arbeitspaket zuständig, das sich mit der Wärmeauskoppelung aus den Elektrolyseuren befasst. Hier könnte eine Lösung für das energetische Problem der Meerwasser-Aufbereitung zu finden sein. »Die bei der Aufspaltung von Wasser entstehende Abwärme hat bislang die Effizienz von Elektrolyseuren gemindert«, erklärt Heyen. »Anders sähe es aus, wenn wir diese Energie zumindest teilweise abfangen und für die Aufbereitung von Meerwasser einsetzen könnten.« Der Wissenschaftler denkt dabei bereits über H₂Wind hinaus: »Die Lösungen, die wir hier für Offshore-Anlagen entwickeln, könnten eines Tages auch zur Wasseraufbereitung verwendet werden in Regionen, in denen Mangel an Trinkwasser herrscht.«

Mit dem bei der Wasserstoff-Produktion entstehenden Sauerstoff hat Heyen bereits ein weiteres »Abfallprodukt« der Elektrolyse im Blick: »An Land gibt es hierfür bereits Interessenten, etwa Krankenhäuser oder Kläranlagen. Für die Offshore-Nutzung suchen wir noch nach sinnvollen Verwendungsmöglichkeiten.«

»Die Lösungen, die wir hier für Offshore-Anlagen entwickeln, könnten eines Tages auch zur Wasseraufbereitung verwendet werden.«

Henner Heyen,
Fraunhofer IWES



5. Die Simulation

Mit 28 Jahren ist Tom Schwarting der wahrscheinlich dienstjüngste Fraunhofer-Mitarbeitende im Projekt H₂Wind. Bis Mitte 2021 hatte der studierte Informatik- und Kommunikationstechniker noch seine berufliche Zukunft in der Luft- und Raumfahrttechnik gesehen und in diesem Forschungsfeld auch seinen Master an der TU Braunschweig gemacht. Als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Flugsicherung war er damals in die Polarexpedition MOSAiC involviert, bei dem der Forschungseisbrecher »Polarstern« samt Besatzung ein Jahr lang über das Nordpolarmeer driftete und das dramatische Schmelzen des Meereises dokumentierte. Schwarting wurde klar, dass er künftig doch lieber auf der Seite der CO₂-Einsparer arbeiten wollte als auf der Seite der CO₂-Verursacher.

Seit April 2021 gehört Tom Schwarting nun zum Team der Zukunftsfabrik des Fraunhofer IWU und dort innerhalb des Projekts H₂Wind zu denjenigen, die sich

mit der Frage beschäftigen, an welchen Schrauben gedreht werden muss, um die Produktion und Verwendung von grünem Offshore-Wasserstoff sowohl ökologisch als auch ökonomisch voranzutreiben.

Über Simulationsmodelle versucht er, die gesamte Wertschöpfungskette von der Wasserstoff-Elektrolyse auf hoher See möglichst realitätsgetreu abzubilden. In Digitalen Zwillingen werden unterschiedliche Szenarien entwickelt, miteinander verglichen und anschließend bewertet. »Das ist ein bisschen wie ein Kinderspiel, bei dem man Murmeln möglichst effizient hin- und herschiebt«, beschreibt es Tom Schwarting.

Wobei es natürlich alles andere als ein Kinderspiel ist. Groß ist nicht nur die Vielzahl möglicher Einflussfaktoren. Groß ist auch die Herausforderung, die großen Entwicklungen korrekt zu berücksichtigen: Wie entwickeln sich die unterschiedlichen Formen der erneuerbaren Energiequellen? Wie werden die Energiepreise im Jahr 2025 aussehen? Welche Rolle wird Wasserstoff als industrieller Rohstoff, als Energiespeicher oder gar als Wärmelieferant in der Welt von morgen spielen? »Unsere Simulationen basieren auf belastbaren Studien, die Zahlen sind also durchaus fundiert«, erklärt Schwarting. Trotzdem gilt: »Lieber mit Schätzungen arbeiten, als zu spät in die digitale Simulation einzusteigen.« Denn sonst drohe die »Henne-Ei-Problematik«: Kein Unternehmen entscheidet sich für die Wasserstoffproduktion, solange Kosten und Nutzen unklar sind. Doch die finanzielle Seite bleibt unscharf, solange niemand Wasserstoff produziert. Dieser Teufelskreis soll mithilfe der Simulation durchbrochen werden.

»Wasserstoff gilt vielen Menschen derzeit per se als Heilsbringer. Er wird uns aber nur dann retten, wenn wir zuvor genügend grünen Strom für die Wasserstoff-Produktion herstellen«, warnt Schwarting. »Doch mit jedem aufgestellten Windrad kommen wir dem Ziel ein Stück näher.«

Stimme aus der Wirtschaft



Kerstin Andreae, 53, wechselte von der Politik in die Wirtschaft. Als BDEW-Vorsitzende plädiert sie für ein Handelssystem für erneuerbare Gase.

Wasserstoff, das Allround-Talent

500 000 Kilometer vorhandene Gasinfrastruktur, die größten Gasspeicher-Kapazitäten in der Europäischen Union – lange nicht die einzigen Vorteile, wenn Deutschland Wasserstoff auf dem Weg zur Klimaneutralität nutzen will.

Ein Standpunkt von Kerstin Andreae, Vorsitzende der Hauptgeschäftsführung des BDEW

Vor uns liegt ein großes Ziel: ein klimaneutrales Deutschland bis zum Jahr 2045. Dieses Ziel ist hochambitioniert, aber machbar.

Um die Energiewende realisieren zu können, ist die Nutzung von erneuerbaren und dekarbonisierten Gasen unverzichtbar. Insbesondere Wasserstoff bietet hier erhebliches Potenzial. Denn Wasserstoff kann Energie speichern und wieder freigeben, ohne dabei CO₂ auszustoßen. Insbesondere die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten – ob zur klimafreundlichen Wärme- und Stromproduktion in der Industrie, in privaten Haushalten oder für umweltfreundliche Mobilität – machen Wasserstoff zu einem echten Multitalent.

Vorhandenes als Chance

Ein großer Vorteil von Wasserstoff und damit ein wichtiger Baustein für das Erreichen der Energiewende, ist die Fähigkeit, dass Wasserstoff Strom über lange Zeiträume hinweg ohne Verluste speichern kann. Durch den Einsatz von Wasserstoff kann Energie somit transportiert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder freigegeben werden, ohne dabei CO₂ auszustoßen. Um dieses Potenzial voll auszuschöpfen, sollten wir dringend die vorhandenen Infrastrukturen nutzen: Deutschland verfügt nämlich über die größten Gasspeicherkapazitäten in der Europäischen Union. Diese vorhandenen Speicherkapazitäten für Erdgas könnten zum Teil künftig auch für klimaneutrale Gase genutzt werden und somit einen wichtigen Beitrag für eine flexible Energiewende leisten. So ließen sich in sogenannten Untergrund-Kavernenspeichern, die fast zwei Drittel des Volumens der deutschen Gasspeicher ausmachen, bis zu 100 Prozent Wasserstoff speichern. Dadurch könnte in Zukunft Strom aus Wind- und Solarenergie in Form von Wasserstoff gespeichert werden, um beispielsweise saisonale Schwankungen in der Stromerzeugung oder im Wärmebedarf auszugleichen.

Zudem besitzt Deutschland eine vorhandene Gasinfrastruktur mit einem Netz von rund 500 000 Kilometern Länge. Diese Infrastruktur ist die Basis für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft über Sektoren und Ländergrenzen hinweg. Insbesondere den Verteilernetzen kommt hier eine hohe Bedeutung zu. Nun gilt es, Netze, Speicher und Endgeräte zu ertüchtigen und wasserstoffkompatibel

»Wasserstoff ist zentraler Baustein für ein klimaneutrales Deutschland. Deswegen ist es jetzt umso wichtiger, dass die Bundesregierung ihrer Nationalen Wasserstoffstrategie zeitnah Taten folgen lässt.«

Kerstin Andreae

- ▶ ist seit dem 1. November 2019 Vorsitzende der Hauptgeschäftsführung des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft. Die 53-Jährige ist auch Mitglied des Präsidiums. Der BDEW vertritt die Interessen von mehr als 1900 Unternehmen, darunter die großen Energieversorger RWE, E.ON., EnBW und Vattenfall.
- ▶ 2002 zog Andreae über die Landesliste Baden-Württemberg für Bündnis 90/ Die Grünen als Abgeordnete in den Bundestag ein. Bis 2007 war sie Mitglied im Finanzausschuss, bis 2012 wirtschaftspolitische Sprecherin der Grünen. Bis 2018 war sie eine der fünf stellvertretenden Vorsitzenden der Bundestagsfraktion. Vor dem Wechsel zum BDEW legte sie ihr Bundestagsmandat nieder.
- ▶ Geboren ist Kerstin Andreae in Schramberg, Schwarzwald. Sie studierte in Freiburg. Die Diplom-Volkswirtin ist verheiratet und hat zwei Kinder.

zu machen. Wir als BDEW plädieren dafür, den bewährten Regulierungsrahmen für das Gasnetz zu nutzen und Wasserstoffnetze dort zu integrieren. Zusätzlich zu den Gasnetzen werden auch reine Wasserstoff-Netze notwendig sein, zum Beispiel für die Industrie. Die ersten regulatorischen Grundlagen dafür wurden mit der letzten Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes geschaffen.

Wir brauchen zudem ein Handelssystem für erneuerbare und dekarbonisierte Gase wie etwa Wasserstoff. Der BDEW hat hier einen konkreten Vorschlag vorgelegt. Ein wichtiges Element ist aus Sicht des BDEW ein standardisiertes System für Herkunftsnachweise, über welches Endverbraucher, Industrie und Gewerbe eindeutig nachvollziehen können, aus welchen Quellen das erneuerbare und dekarbonisierte Gas stammt. Die Verbraucher können damit auf transparente Weise auswählen, welche Form solcher Gase sie beziehen wollen (sogenannte »clean choices«). Zunächst wäre der Markt im europäischen Raum und perspektivisch auch durch außereuropäische Lieferländer organisiert.

Hemmnisse für Investitionen müssen jetzt beseitigt werden!

Damit das große Potenzial von Wasserstoff für den Klimaschutz voll ausgeschöpft werden kann, sollte dieser klimaneutral und zunehmend erneuerbar produziert werden. Hier nimmt die Energiewirtschaft eine zentrale Rolle ein: Sie liefert den grünen Strom, mit dem künftig ein wesentlicher Anteil des benötigten Wasserstoffs hergestellt werden kann. Dieser grüne Wasserstoff kann einen erheblichen Beitrag dazu leisten, den CO₂-Ausstoß maßgeblich zu reduzieren. Um dies zu ermöglichen, ist der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien von zentraler Bedeutung. Dazu müssen die noch bestehenden Hemmnisse für Investitionen beseitigt, sowie Hindernisse für Wind und Photovoltaik überwunden werden. Denn Hindernisse für den Ausbau der Erneuerbaren sind immer auch Hindernisse für die Erzeugung erneuerbarer Gase. Wasserstoff ist ein Hoffnungsträger für eine CO₂-neutrale Energieerzeugung und somit ein zentraler Baustein für ein klimaneutrales Deutschland bis zum Jahr 2045. Deswegen ist es jetzt umso wichtiger, dass die Bundesregierung ihrer Nationalen Wasserstoffstrategie zeitnah Taten folgen lässt. ■

Wasserstoff aus der Biotonne

Bislang werden Grünabfälle und Klärschlamm meist kompostiert oder verbrannt. Sinnvoller wäre es, daraus wertvollen Wasserstoff zu gewinnen.

Von Tim Schröder

Bioabfall gibt es in Deutschland reichlich. Rund 4,6 Millionen Tonnen sammeln die Deutschen im vergangenen Jahr laut Umweltbundesamt allein in ihren braunen Tonnen. Hinzu kommen Abfälle aus öffentlichen Parks und Gärten, aus der Landwirtschaft und aus der Nahrungsmittelproduktion, außerdem Klärschlamm und Speisereste aus Kantinen; alles in allem gut 15 Millionen Tonnen. Der Großteil landet in Kompostieranlagen oder wird verbrannt, um daraus Wärme und Strom zu erzeugen. Dabei entstehen Kohlendioxid-(CO₂-)Emissionen, die unserem Klima schaden. Doch dafür sei der Bioabfall viel zu schade, sagt Johannes Full vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. »Sinnvoller wäre es, aus dem Material Wasserstoff zu erzeugen und das dabei entstehende CO₂ abzuscheiden, zu speichern oder langfristig zu nutzen.« Wasserstoff gilt als sauberer Energieträger der Zukunft. Bei seiner Verbrennung wird nur Wasser frei. Allerdings wird Wasserstoff heute noch zu großen Teilen aus Erdgas hergestellt. Eine Produktion aus Pflanzenresten wäre deutlich klimafreundlicher.

Für die Wandlung von Biomasse in Wasserstoff wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Verfahren entwickelt. Johannes Full und seine Kollegen haben genauer analysiert, welche Prozesse technisch ausgereift sind und sich künftig wirt-

schaftlich betreiben lassen. Die neuen Methoden sollen auch eine Schwäche der herkömmlichen Bio-Abfallwirtschaft ausbügeln: Ganz gleich, ob Biomasse kompostiert oder verbrannt wird, stets wird dabei Kohlendioxid frei, das die Pflanzen zuvor per Photosynthese aus der Luft aufgenommen haben. Sinnvoller wäre es, das Klimagas aus den Pflanzen aufzufangen und in der chemischen Industrie als Rohstoff zu verwenden oder in ausgedienten Erdgasfeldern im Boden zu speichern. »So schlagen wir zwei Fliegen mit einer Klappe«, sagt Full. »Wir tragen dazu bei, den Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre zu verringern und stellen aus den Pflanzenresten grünen Wasserstoff her.«

Biomasse vollständig nutzen

Wie das funktioniert, zeigt ein Projekt, das das Fraunhofer IPA bei einem Unternehmen aus der Metallbranche durchführt. Dort können Abfälle von Obst- und Weinbauern aus der Umgebung, Kartonagen und Altholz sowie Kantinenabfälle in Wasserstoff umgewandelt werden. Der Wasserstoff wird dann direkt in der Metallverarbeitung genutzt. Das Vorhaben ist spannend, weil hier verschiedene Methoden zur Wasserstoffproduktion zum Einsatz kommen sollen. Die Obstreste und Kantinenabfälle werden zunächst mithilfe von Bakterien in dunklen Behältern fermentiert, wobei Wasserstoff und Kohlendioxid entstehen. Anschlie-

Die getrennte Sammlung von Bioabfällen begann in Deutschland 1985. Seitdem ist die Menge stark angestiegen.

15
Millionen
Tonnen
Biomasse
jährlich in
Deutschland

ßend kann die fermentierte Masse in einer herkömmlichen Biogasanlage zu Methan vergoren werden, welches wiederum ebenfalls zu Wasserstoff und CO₂ umgewandelt wird. Holz und Papierfasern hingegen lassen sich nur schlecht vergären. Sie werden in einem Holzvergaser in CO₂ und Wasserstoff aufgespalten.

Besonders fleißig produzieren Purpurbakterien aus Frucht- und Molke-
reiabfällen Wasserstoff. Forschern an der Universität Stuttgart ist es gelungen, das Bakterium so zu verändern, dass es kaum mehr Licht benötigt, was die Wasserstoff-Produktion energiesparend macht. Zusammen mit dem Fraunhofer IPA untersuchen sie, wie sich die Herstellung von Wasserstoff mit dem Purpurbakterium künftig in größerem Maßstab wirtschaftlich betreiben lässt. Im Projekt H2Wood arbeitet das Fraunhofer IPA-Team zudem daran, wie sich Holzabfälle aus dem Schwarzwald mikrobiell in Wasserstoff und andere wertvolle Moleküle für die chemische Industrie zerlegen lassen. Gleichzeitig soll die Wasserstoffausbeute durch eine ausgeklügelte Steuerung erhöht werden.

Problemlöser für die Städte

Auch aus städtischem Bioabfall und Klärschlamm lassen sich mithilfe einer Pyrolyse-Anlage Wasserstoff oder wertvolle Gasgemische gewinnen, die für den Betrieb von Blockheizkraftwerken oder den städtischen Fuhrpark genutzt werden könnten. Das Fraunhofer-Institut für System- und

Innovationsforschung ISI in Karlsruhe untersuchte im Auftrag des Anlagenherstellers BHYO, wann es sich für die Städte rechnet, eine solche Anlage anzuschaffen. Klärschlamm darf seit einigen Jahren wegen der Schadstoffbelastung nicht mehr auf Äcker ausgebracht werden. Manche Kommunen müssen ihn für viel Geld entsorgen, für bis zu 150 Euro pro Tonne. Verwandelt man den Klärschlamm künftig in Wasserstoff, würde er zu einem wertvollen Gut. Eine Tonne Bioabfall liefert rund 100 Kilogramm Wasserstoff.

Das Ergebnis der Untersuchung der Fraunhofer ISI-Forscher: Die Anlage rechnet sich bereits für mittelgroße Städte. Dabei besteht eine besondere Stärke der BHYO-Anlage darin, dass sie je nach Fahrweise eher Wasserstoff oder ein Gasgemisch liefert. Im Winter würde sie eher das Gasgemisch produzieren, um Blockheizkraftwerke (BHKW) zu versorgen. Im Sommer würde sie eher Wasserstoff bereitstellen, mit dem dann die städtischen Fahrzeuge be-

tankt werden. Dank dieses Doppelnutzens lohne sich eine solche Anlage sehr schnell, sagt Martin Pudlik, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ISI und Professor an der FH Bingen. Sie ließe sich als Modul nach Belieben direkt an BHKWs oder auch an Kläranlagen installieren, um den Klärschlamm direkt vor Ort zu nutzen. Städte könnten so recht einfach von fossilen Energieträgern wie Erdgas, Heizöl oder Diesel auf nachwachsende Rohstoffe umsteigen. Dieses pragmatische Konzept scheint anzukommen. »Wir haben die Anlage erst auf einigen wenigen Konferenzen in der Region vorgestellt, aber die Kommunen rennen BHYO und uns schon jetzt die Türen ein«, sagt Pudliks Kollege Bernhard Seyfang von der FH Bingen. ■

»Wir tragen dazu bei, den Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre zu verringern und stellen aus den Pflanzenresten grünen Wasserstoff her.«

Johannes Full, Fraunhofer IPA



Zucker fürs Auge

Augenerkrankungen behandelt man heute vielfach mit Tropfen. Die sind aber schnell wieder ausgewaschen. Abhilfe kann eine neue Kontaktlinse mit Zuckerbeschichtung schaffen, die Wirkstoffe langsam abgibt.

Von Tim Schröder



Zucker? Das klingt nach Schlemmereien und Genuss, aber auch nach Hüftgold und Karies. Einen ganz anderen Blick darauf hat Dr. Ruben R. Rosencrantz. Der Leiter der Abteilung für Bio-funktionalisierte Materialien und Glyko-Biotechnologie am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP im Potsdam Science Park findet Zucker schlichtweg faszinierend.

»Körpereigene Zucker bilden den Stoff, der die Gelenke oder auch das Auge geschmeidig hält. Sie kleiden die Luftröhre und die Lunge aus, damit keine Keime eindringen können.« Über drei Jahre hat Rosencrantz ein Projekt koordiniert, um eine Kontaktlinse mit Zuckerbeschichtung zu entwickeln – zur Therapie von Augen-erkrankungen.

Um ein gereiztes oder entzündetes Auge zu behandeln, werden üblicherweise Augentropfen gegeben. Die Tränenflüssigkeit spült das Medikament allerdings so schnell wieder aus, dass nur etwa fünf Prozent des Wirkstoffs an der schmerzenden oder entzündeten Stelle ankommen. Dadurch dauern Behandlungen häufig sehr lange. Mit seinem deutsch-israelischen Forschungsteam hat Rosencrantz deshalb eine alternative Methode entwickelt, um Arzneimittel besser im Auge zu applizieren: therapeutische Kontaktlinsen. Die Wirkstoffe werden chemisch an die Oberfläche der Linse gebunden und nach und nach freigesetzt. Dadurch wird das Auge kontinuierlich mit dem Medikament versorgt.

Zucker macht die Linsen gleitfähig

Rosencrantz ist Experte für Zuckermoleküle – und die spielen bei den therapeutischen Kontaktlinsen die zentrale Rolle. Gemeinsam mit Forscherinnen und Forschern des Weizmann Institute of Science in Israel kam Rosencrantz auf die Idee, die therapeutischen Kontaktlinsen mit Zuckermolekülen zu beschichten, um darin Wirkstoffe einzubetten und die Linsen zugleich besonders gleitfähig zu machen, damit sie das gereizte Auge nicht

zusätzlich belasten. Als Wirkstoff-Träger wählte das Team Liposomen, winzige Mikrobällchen, die aus einer fetthaltigen Hülle bestehen und Flüssigkeiten in sich einschließen können. Liposomen werden schon seit vielen Jahren für den Transport von Wirkstoffen eingesetzt – zuletzt auch, um mRNA-Impfstoffe gegen das Coronavirus oder andere Erreger in den Körper zu bringen.

Dem deutsch-israelischen Team ist es gelungen, geeignete Zuckermoleküle zu finden, sogenannte Glykopolymere, die die Liposomen sehr gut binden können. Die Herausforderung: Die Bindung muss stark genug sein, damit die Liposomen sicher in der Kontaktlinsen-Beschichtung haften; aber schwach genug, damit sie sich nach und nach von der Linse lösen und im Auge verteilen.

Mit zum Forschungsteam gehörte die Berliner Firma Surflay Nanotec, die unter anderem darauf spezialisiert ist, Moleküle auf Oberflächen aufzubringen. Die Berliner trugen die Glykopolymere Schicht für Schicht auf die Kontaktlinsen auf und betteten zugleich die Liposomen in diese Matrix ein. Unterstützt wurde die Projektgruppe von der israelischen Firma EyeYon Medical. Das Unternehmen stellt individuell angepasste Kontaktlinsen her. Darüber hinaus hatte EyeYon Medical schon seit längerer Zeit Kontaktlinsen für die Gabe von Medikamenten im Programm.

Diese Kontaktlinsen sind mit kleinen Löchern versehen, in denen die Flüssigkeit eine Weile haftet. »Bislang lag die Verweilzeit des Wirkstoffs dank der Kontaktlinse bei rund 20 Minuten«, sagt Rosencrantz. »Das ist länger, als wenn man die Flüssigkeit direkt ins Auge tropft. Wir wollten aber noch deutlich darüber hinausgehen.«

Das ist gelungen. In ersten Versuchen zeigte sich, dass die mit Glykopolymeren beschichteten Kontaktlinsen Wirkstoffe über mehrere Stunden abgeben können.

»Wir haben jetzt alle Elemente zusammen, die wir für ein künftiges Produkt brauchen – die Kontaktlinsen, die Glykopolymere und die Liposomen«, resümiert Rosencrantz. Mittlerweile ist das Projekt beendet. Für das Team aber geht die Arbeit

weiter. Zusammen mit der Universitätsklinik Rostock werden jetzt biologische Untersuchungen durchgeführt. Da es sich bei den therapeutischen Kontaktlinsen um ein künftiges Medizinprodukt handelt, müssen sie für die Zulassung die obligatorischen klinischen Studien durchlaufen. Aktuell wird geprüft, wie gut sich die Linsen auf Dauer mit dem Gewebe im Auge vertragen. »Da wir mit den Glykopolymeren eine sehr natürliche Substanz für die Beschichtung gewählt haben, dürften keine Komplikationen auftreten«, erwartet Rosencrantz.

Zucker ist wichtig für die Kommunikation

Das Potenzial der Glykopolymere ist vielversprechend. Zellen in Gewebeverbänden erkennen einander anhand der Zuckermoleküle auf ihrer Oberfläche. Damit übernehmen die Moleküle eine wichtige Rolle in der Zell-Kommunikation. Bei Krebszellen verändert sich diese Zuckerstruktur, die Zellen gleiten aus dem Zellverband heraus und metastasieren im Körper. So kann die Erforschung der Zuckerstrukturen zur Entwicklung von Krebsmedikamenten beitragen.

Die Tatsache, dass Krankheitserreger und Keime sehr leicht an Glykopolymeren kleben bleiben, hat sich die Fraunhofer IAP-Gruppe um Rosencrantz bereits zunutze gemacht: Das Team umhüllt kleine Partikel mit Glykopolymeren, die künftig beispielsweise als Spray verabreicht werden könnten, um Keime aus den Atemwegen zu entfernen. Weil sich die Keime leicht an Glykopolymere binden, könnten die Partikel diese regelrecht aus dem Lungengewebe herausziehen. Mit dem Schleim, den man beim Räuspern abhustet, würden die beladenen Partikel dann wieder aus dem Atemtrakt entfernt.

Rosencrantz denkt aber nicht nur an den medizinischen Bereich. Im wahrsten Sinne hat er auch den Massenmarkt im Auge: »Viele Kontaktlinsenträger klagen über Augenreizungen«, sagt der Forscher, »eine Zuckerbeschichtung könnte für sie den Tragekomfort ganz erheblich erhöhen.« ■

Duisburger Hafen: Keimzelle für Klimaneutralität

Kohleninsel? War einmal! Stattdessen entsteht auf dem frei gewordenen Platz im Duisburger Hafen, weltweit größter Binnenhafen, das erste klimaneutrale Containerterminal Europas – auf Basis von Wasserstofftechnologie.

Von Dr. Janine van Ackeren

Sie trägt einen Namen aus der Geschichte, doch geht die Zeit der Kohle zu Ende. Auf der »Kohleninsel« im Duisburger Binnenhafen soll das größte klimaneutrale Containerterminal Deutschlands entstehen: mit Wasserstoff betrieben, intelligent vernetzt und vom Start weg mit der Perspektive, benachbarte Wohnquartiere mit Energie zu versorgen. Auf 240 000 Quadratmetern werden auf dem Duisburger Gateway Terminal, kurz DGT, sechs Portalkrananlagen errichtet, außerdem zwölf Ganzzuggleise mit 730 Metern Länge und mehrere Liegeplätze für Binnenschiffe. Um dieses Terminal mit nachhaltiger, grüner Energie zu versorgen, entsteht – parallel zum Bau des Terminals – im Rahmen des Projektes »enerPort II« ein innovatives Energiekonzept. Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) arbeiten der Hafenerbetreiber duisport und das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT mit weiteren Partnern zusammen.

Von der global-galaktischen Sicht ...

Die Forscherinnen und Forscher näherten sich dem Projekt eines klimaneutralen Containerterminals zunächst theoretisch – im Vorläuferprojekt »enerPort«. »Am Anfang standen Bestandsanalysen von Binnenhäfen im Allgemeinen: Welche standardisierten Elemente aus dem Bereich der Siedlungstypologie kommen im Hafen vor? Wie steht es um wirtschaftliche Bedeutung, Struktur, Quartiersanbindung? Wir wollten zunächst einmal verstehen, wie ein Hafen als Quartier funktioniert«, erläutert Anna Grevé, Abteilungsleiterin am Fraunhofer UMSICHT im benachbarten Oberhausen. »Schließlich sind Binnenhäfen eine ganz spezielle Form von Quartier: Sie vereinen Industrie, Gewerbe, Verwaltung und Wohngebiete und liegen je nach Region entweder urban oder länd-

lich.« Die Ergebnisse fasste das Team in Ergebniskarten zusammen, mit denen sich die 170 Binnenhäfen Deutschlands vergleichen und anhand ihrer Gegebenheiten clustern lassen.

... zum Bau des neuen Containerterminals in Duisburg

Während der Bau des DGT im Frühjahr 2022 beginnt, ist das vierjährige Projekt »enerPort II« bereits im Dezember 2021 gestartet. Mit von der Partie ist neben dem Rolls-Royce-Geschäftsbereich Power Systems, der Westenergie Netzservice GmbH, der Netze Duisburg GmbH, den Stadtwerken Duisburg und der Stadtwerke Duisburg Energiehandel GmbH auch hier das Fraunhofer UMSICHT. Für das Forschendenteam geht es vor allem darum, im Energiesystem des Terminals Photovoltaik, Brennstoffzelle und Wasserstoff-Blockheizkraftwerk sowie verschiedene elektrische und thermische Speicher zu einem optimalen, intelligenten System zu verknüpfen. Die Herausforderung: Der Strombedarf des Terminals entspricht etwa 1000 Einfamilienhäusern. »Zunächst einmal wollen wir zeigen, dass es möglich ist, etwas so Großes und Komplexes wie ein Containerterminal erneuerbar zu versorgen – schließlich gibt es hier noch keine Erfahrungswerte«, erläutert Grevé. Ein mathematisches Optimierungsmodell, entwickelt am Fraunhofer UMSICHT, soll einen umfassenden Fragenkatalog beantworten helfen. Die Energie aus der Photovoltaik unterliegt natürlichen Schwankungen, abhängig davon, wie die Sonne scheint, und auch der Verbrauch schwankt – so wird Landstrom vor allem dann in großen Mengen benötigt, wenn ein Schiff im Hafen liegt. Und wie sehen die Bedarfe und Netze beim Wasserstoff aus? Gäbe es Abnehmer für den begleitend entstehenden Sauerstoff? Ließe sich perspektivisch Wärme ans benachbarte Wohnquartier liefern?



Visualisierung: duisport

Anhand dieser Modellierung entwickelt das Team Betriebsstrategien, die je nach Betreiberwunsch verschiedene Ziele abbilden – etwa möglichst geringe CO₂-Emissionen oder einen hohen Grad an Autarkie. Auch die Entwicklung von Geschäftsmodellen steht auf der Agenda des Fraunhofer UMSICHT. Die Ergebnisse aus der mathematischen Modellierung fließen zudem in ein Monitoringsystem sowie in die Echtzeitsteuerung der Anlagen ein.

Zwar ist der erste Spatenstich kaum getan, doch gilt das neue Großterminal schon jetzt weltweit als Testfeld und Modell für klimaneutrale Binnenhäfen. »Das Containerterminal ist eine Keimzelle, an der zahlreiche andere Projekte andocken sollen – etwa

die Versorgung der umliegenden Quartiere oder anderer Terminals mit Energie und Wärme, die Wasserstoffherzeugung auf dem Hafengelände oder auch eine Wasserstofftankstelle am Hafen«, sagt Grevé. Ein Beispiel für ein solches Satellitenprojekt ist eine wasserstoffbasierte Rangierloks. Bisher sind alle Rangierloks dieselbetrieben, schließlich gelten in Hafenumgebungen Oberleitungen für eine Elektrifizierung als Störfaktor. Das klimaneutrale Terminal wird also zum Ankerpunkt und zur Keimzelle für den Transformationsprozess des gesamten Duisburger Hafens. Und mehr als das: Der Ansatz soll anderen Binnenhäfen als Beispiel dienen. Die Strahlkraft reicht also weit über den Duisburger Hafen hinaus. ■

Der Strombedarf entspricht **1000** Einfamilienhäusern.

240 000 Quadratmeter groß: Diese Visualisierung gibt einen Eindruck von der Dimension des Duisburg Gateway Terminal.



Brücken am Anschlag

Die Hälfte der deutschen Autobahnbrücken ist alt und überlastet, Sperrungen und Staus sind vorprogrammiert. Ein neues Monitoringsystem zur permanenten Zustandsüberwachung soll helfen.

Von Dr. Sonja Endres

Mit 185 Metern ist die Kochertalbrücke bei Geislingen an der A6 die höchste in Deutschland. Sie gehört zu den wenigen Autobahnbrücken aus den 1970er Jahren, die bereits umfassend saniert wurden.

Mehr als
200 000 Tonnen
Achslast täglich
müssen einzelne
Autobahnabschnitte
verkräften.

30 %
aller Autobahnbrücken
erhielten 2021 eine
Zustandsbewertung
von ausreichend oder
schlechter.

60 %
des Brückenbestands
der Bundesfernstraßen
sind zwischen
35 und 60 Jahre alt.

Mindestens
400
statt 200 Brücken
will die Autobahn GmbH
ab diesem Jahr
jährlich erneuern.

»Es ist zwingend notwendig, von einem reaktiven zu einem vorausschauenden Erhaltungsmanagement zu kommen.«

Prof. Hans-Georg Herrmann, Fraunhofer IZFP



Lärmender, stinkender Schwerlastverkehr verstopft seit Anfang Dezember die Straßen im sauerländischen Lüdenscheid. Rund 25 000 Fahrzeuge werden hier täglich von der A45 ab- und durch das früher beschauliche Städtchen umgeleitet, weil es auf der Autobahn nicht mehr weitergeht: Die Rahmede-Talbrücke musste wegen gravierender Schäden komplett gesperrt werden. Eine Sanierung der 53 Jahre alten Brücke ist nicht mehr möglich, es bleibt nur noch der Abriss und Neubau – kein Einzelfall.

Etwa die Hälfte der 28 000 Autobahnbrücken in Deutschland stammt aus der Zeit zwischen den 1960er und 1980er Jahren. Allein seit Beginn der 1980er Jahre hat sich der Verkehr nahezu verdoppelt, vor allem der Schwerlastverkehr hat deutlich zugenommen. Doch die Lkw wurden nicht nur mehr, sie wurden auch deutlich massiger. 40 Tonnen Gesamtgewicht und elf Tonnen Achslast sind keine Seltenheit. »Alte Brücken und aktueller Verkehr passen nicht zusammen«, bringt es Dr. Jürgen Krieger auf den Punkt, Direktor und Professor bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Der Bauingenieur leitet die Abteilung Brücken- und Ingenieurbau. Sanierungen oder Neubauten können jedoch nur nach und nach vonstattengehen, wenn der Verkehr weiter fließen soll. »Wir müssen also dafür sorgen, dass dieser Altbestand so lange wie möglich weiter funktioniert«, mahnt Krieger.

Permanentes Monitoring senkt Kosten

Helfen will dabei Prof. Hans-Georg Herrmann mit seinem Team am Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken. Der stellvertretende Institutsleiter, Ingenieur und Experte für Sensorik arbeitet an einem Sensorsystem zur permanenten Zustandsüberwachung von Brücken. »Es ist zwingend notwendig, von einem reaktiven zu einem prädiktiven, also vorausschauenden Erhaltungsmanagement zu kommen, um die Kosten und Konsequenzen für den Verkehr so gering wie möglich zu halten«, ist Herrmann überzeugt. Prof. Krieger pflichtet ihm bei. Mithilfe einer intelligenten Sensorik sollen problematische Veränderungen am Bauwerk in Zukunft frühzeitig entdeckt werden – bevor sichtbare Schäden entstehen.

Brücken werden bisher von speziell geschulten Bauwerksingenieuren in einem dreijährigen Intervall von Haupt- und Zwischenprüfungen begutachtet – fast ausschließlich visuell. Die Hauptprüfungen erfolgen nach DIN 1076 »vollflächig« und »handnah«, das heißt: Jeder Quadratmeter wird genaustens inspiziert. Der Prüfer muss dabei so nah sein, dass er jederzeit das Bauteil anfassen und zum Beispiel abklopfen kann. Er dokumentiert und bewertet Risse oder andere Schäden. Ist er sich unsicher, ordnet er eine tieferegehende Analyse an. Dann kommen auch etablierte zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Ultraschall oder Georadar zum Einsatz, wie sie am Fraunhofer IZFP entwickelt werden. »Wir verfolgen einen multimodalen Ansatz, das heißt wir kombinieren verschiedene, teilweise auch neu konzipierte Sensoren, Mess- und Zustandsgrößen, um eine Fragestellung, die uns die Bauingenieure vorgeben, zu lösen. Das System soll sich vielfältiger Informationsquellen bedienen, ähnlich wie es der Mensch mit seinen Sinnen macht«, erklärt Herrmann. So könne beispielsweise die Dicke von Betonstrukturen gemessen werden oder Korrosion am eingebetteten Stahl – eine charakteristische Schwäche der Spannbetonbrücken, die einen Anteil von rund 70 Prozent am Bundesfernstraßenbestand haben. Vor allem die Brücken aus den 1970er und 1980er Jahren sind von der sogenannten Spannungsrissskorrosion bedroht, die dazu führen kann, dass Spannstähle unerwartet reißen und im Extremfall die Brücke einstürzen lassen. »Wir haben enorme Fortschritte bei den Baumaterialien gemacht. Damals war der Beton längst nicht so haltbar und dicht wie heute«, sagt Krieger. Die Folge: Der alte Beton ist empfindlich, Risse tun sich auf, Wasser und Streusalz dringen ein und setzen den betagten Baustählen zu. Krieger seufzt. »Dann kann man eigentlich nichts mehr machen.«

Damit es nicht so weit kommt, ist es wichtig, die Fahrbahndecken aus Beton, die mit einer Stahlbewehrung verstärkt sind, also eingelegten Stahlmatten, engmaschig zu kontrollieren – und gegebenenfalls auszubessern. »Wir arbeiten gerade daran, unsere Prüfsysteme so zu miniaturisieren, dass sie als permanente Sensoren vor Ort installiert werden können«, sagt Herrmann. Die Energieversorgung der effizienten, intelligenten Sensoren soll autark sein, idealerweise über Solarzellen, das System eine Echtzeit-Zustands-



Am 6. Februar fiel die marode, 500 Meter lange und 70 Meter hohe Rinsdorf-Talbrücke an der A45 exakt geplant in sich zusammen – Zentimeterarbeit. Direkt daneben stand schon das erste Teilstück des Neubaus, das auf keinen Fall beschädigt werden durfte.

erfassung erlauben. Das Auslesen der Daten vor Ort kann dann drahtlos per Handy erfolgen oder durch einen automatisierten Transfer in die Cloud. Eine erste Teilkomponente ist bereits entwickelt und wird zurzeit getestet.

Auch Carsten Chassard von der Autobahn GmbH des Bundes, die seit Anfang 2021 für Planung, Bau und Betrieb der Brücken zuständig ist, würde ein Sensorsystem als weiteres Werkzeug der Bauwerksüberwachung und nachhaltigen Erhaltung begrüßen. Der Bauingenieur, der die Außenstelle Neunkirchen bei Saarbrücken leitet, ist für ein 334 Kilometer langes Autobahnstreckennetz mit 527 Brücken verantwortlich. Auch er klagt über korrodierten Betonstahl und Risse im Betongefüge. Mit einer kontinuierlichen Überwachung, so hofft er, könnten Maßnahmen früher und zielgerichteter ergriffen werden. »Das Messprogramm muss aber immer an die spezielle Brücke und deren statische Besonderheiten angepasst sein.«

»Alte Brücken und aktueller Verkehr passen nicht zusammen.«

Dir. Prof. Jürgen Krieger,
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Dabei ist es wichtig, die Erkenntnisse aus den Bauwerksprüfungen, bereits identifizierte Schäden und charakteristische Schwachstellen verschiedener Brückentypen zu berücksichtigen. Gemessen werden müssen auch grundlegende Werte wie die Einwirkungen des Verkehrs oder die Luft- und die Bauwerkstemperatur. Nur so lassen sich die

Daten einordnen und korrekt interpretieren. Die Sensoren sollten vor allem an den Stellen mit maximaler Beanspruchung angebracht werden, die für jede Brücke individuell ermittelt werden müssen. »Wir haben in Deutschland keine Baukasten-Standardbrücken. Wenn der Sensor irgendwo sitzt, wo nichts passiert, bringt das nichts«, warnt Krieger. Ein permanentes Monitoring aller Sorgenkinder sei jedoch illusorisch. Stattdessen müsse man repräsentative

Objekte auswählen und die Erkenntnisse auf ähnliche Brücken oder Bauteile übertragen – um Sperrungen wie in Lüdenscheid und die damit einhergehenden volkswirtschaftlichen Schäden in Millionenhöhe zu vermeiden. ■

60

Talbrücken

müssen allein auf der sogenannten Sauerlandlinie an der A45 erneuert werden, weil sie in die Jahre gekommen sind. Dazu gehören die 55 Jahre alte Rinsdorf-Talbrücke im Siegerland und die 53 Jahre alte Rahmede-Talbrücke bei Lüdenscheid.



Weitere Infos:
<https://s.fhg.de/izfp>

Von der Braunkohle zur Blockchain

Ein Blockchain-Reallabor in einem alten Filmstudio will Unternehmen die digitale Transformation erleichtern – und die Attraktivität des rheinischen Braunkohlereviers als Innovationsstandort erhöhen.

Von Markus Borgmann

Was am neuen europäischen Blockchain-Institut in Dortmund geplant ist und wie die Technologie Unternehmen voranbringen kann, erfahren Sie im Interview mit Prof. Michael Henke und Prof. Wolfgang Prinz.

Hier geht's zum Podcast:



2038 ist endgültig Schluss mit der Braunkohle. Schon jetzt soll das rheinische Revier neue Perspektiven erhalten.

Zwei Fachleute, eine Entwicklung, zwei Sichtweisen: »In den kommenden, spätestens fünf bis zehn Jahren wird es im B2B-Bereich kein Geschäft mehr ohne den Einsatz von Blockchain-Technologie geben.« Es klingt fast schon euphorisch, wenn sich Prof. Michael Henke so eindeutig festlegt. »Früher ist viel zu viel versprochen worden, heute denken wir bei der praktischen Umsetzung von Blockchain sehr viel eher an das Naheliegende, low hanging fruits«, sagt hingegen Prof. Wolfgang Prinz. So ließe sich mithilfe von Blockchain beispielsweise die Herkunft von Medikamenten oder Lebensmitteln sicher nachweisen und überprüfen, ob die Kühlung während des gesamten Transports gewährleistet war.

Prof. Henke leitet das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund, Prof. Prinz ist stellvertretender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT in Birlinghoven, Nordrhein-Westfalen. Beide Institute arbeiten schon seit vielen Jahren auf diesem Gebiet eng zusammen.

Blockchain hat eine bewegte Vergangenheit hinter sich. Das Konzept eines dezentralen Systems, um Daten in Blöcke zu zerlegen, sie zu verketteten und damit kryptografisch zu verschlüsseln, wurde 2008 erstmals öffentlich beschrieben – unter dem Pseudonym Satoshi Nakamoto. Bis heute ist unklar, ob sich dahinter eine Person oder eine Personengruppe verbirgt. Klar allerdings ist: Es begann ein Hype um Blockchains, um Bitcoins, um Smart Contracts. Seit 2015 beschäftigen sich das Fraunhofer IML und FIT mit dem Thema. 2017 erschien ein erstes Fraunhofer-Positionspapier, das sich den Forschungsfragen und potenziellen Anwendungsmöglichkeiten der Technologie widmete.

Zu einer Fraunhofer-Säule der Blockchain-Strategie in Nordrhein-Westfalen hat sich das Blockchain-Reallabor in Hürth bei Köln entwickelt. Das Filmstudio, in dem einst Hans Meiser und Ilona Christen zu Talkshows einluden, wird zu einer Blockchain-Welt umgebaut. »Die Idee ist: Interessenten kommen zu uns und informieren sich über Blockchain. Wir zeigen ihnen anhand verschiedener Demonstratoren Einsatz und Nutzen der Technologie,«

fahrer erhalten digitale Zertifikate, die zum Beispiel auf einem mobilen Gerät per Scan eines QR-Codes geprüft werden können. So wird nicht nur fälschungssicher hinterlegt, dass der Tank gereinigt, sondern auch, dass die Reinigung überprüft wurde.«

Beispiele wie diese zeigt das Team um Wolfgang Prinz im Reallabor und erklärt Interessierten anhand von Demonstratoren, wie die Speicherung von Daten auf einer Blockchain erfolgt. Hier lässt sich zu-

Prof. Michael Henke,
Leiter des
Fraunhofer IML



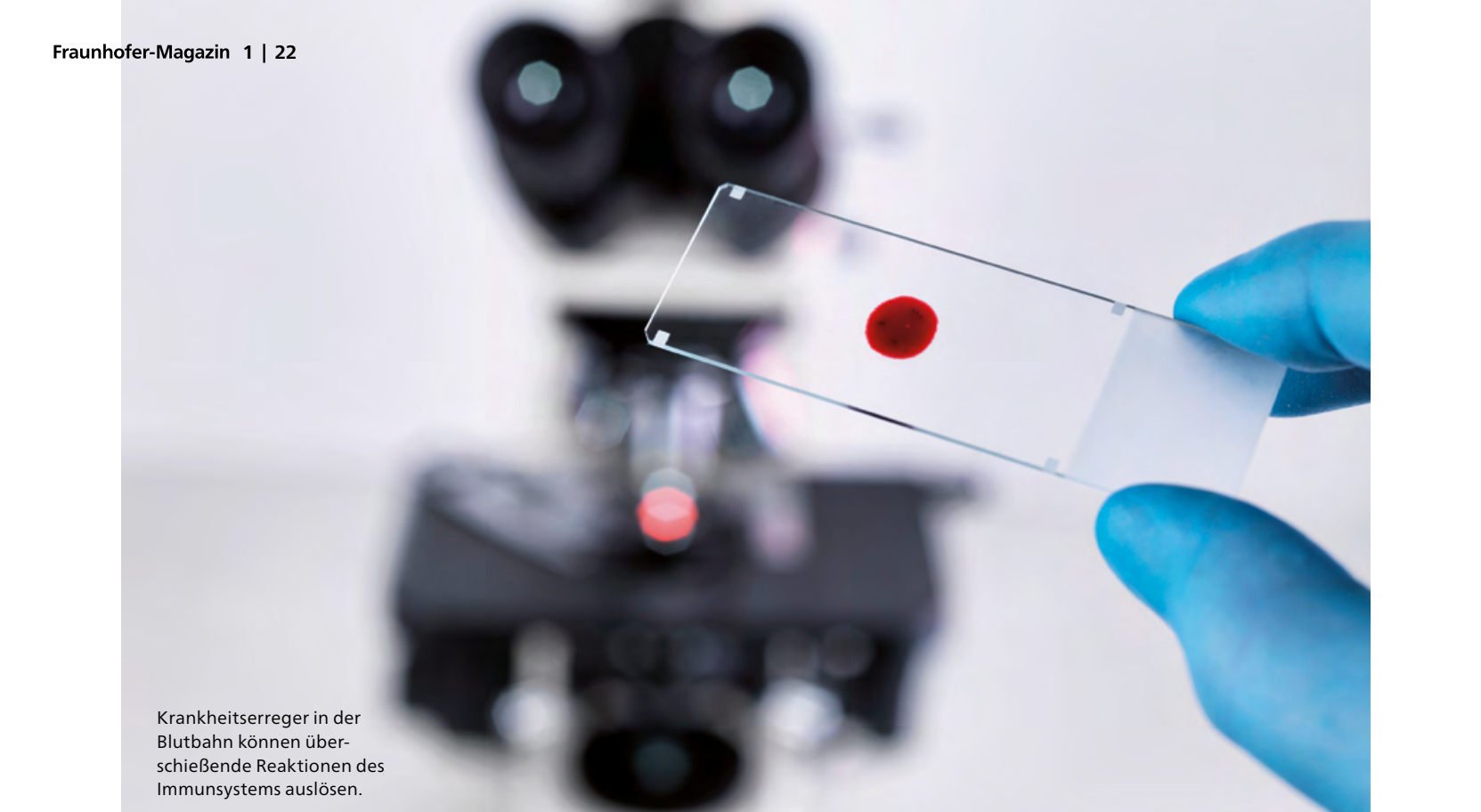
Prof. Wolfgang Prinz,
stellvertretender
Leiter des
Fraunhofer FIT



erklärt Wolfgang Prinz, Leiter des Reallabors. »Der Besucherausweis liegt selbstverständlich auch auf einer Blockchain.« Das Projekt wird mit fünf Millionen Euro vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert, soll den Strukturwandel im rheinischen Revier nach dem Abschied von der Braunkohle vorantreiben – und ist längst in der Anwendung angekommen. Die Reallabor-Experten machen Unternehmen aus der Region mit der Technologie vertraut, zeigen ihnen mögliche Anwendungen und entwickeln gemeinsam mit ihnen Ideen für neue digitale Dienste. Mit einem Logistikdienstleister vor Ort, der sich auf den Transport von Chemikalien spezialisiert, wurden bereits erste Use Cases prototypisch umgesetzt. Für die Tankfahrzeuge des Unternehmens müssen aus Sicherheitsgründen die Reinigungen sorgfältig dokumentiert werden. Dem Geschäftsführer erschien die Dokumentation nur über ein Papierdokument zu unzuverlässig. »Wir sind dann schnell zu einer Blockchain-Lösung gekommen«, sagt Prinz. »Die Tankwagen-

künftig jeder Schritt eines Prozesses mit allen dazugehörigen Daten und Dokumenten sicher und irreversibel festhalten – ideal für zahlreiche Anwendungen wie fälschungssichere Herkunftsnachweise, die unternehmensinterne Dokumentation oder den internationalen Warenhandel. »Es muss nicht jeder zu einhundert Prozent verstehen, wie Blockchain funktioniert«, sagt Prinz und ergänzt: »Es weiß ja auch kaum jemand, wie das Getriebe eines Autos funktioniert – und trotzdem nutzen es alle.«

Während das Schaltgetriebe durch die Elektromobilität in den kommenden Jahren an Bedeutung verlieren wird, sind sich Henke und Prinz sicher, dass der Blockchain die Zukunft gehört – vor allem bei Transaktionsgeschäften. Henke nennt als Beispiele den elektronischen Frachtbrief und Zolldokumente: »Eine digitale Blockchain-basierte Mappe ersetzt Papierdokumente. Das macht zum Beispiel die Zollgeschäfte nicht nur sicherer und transparenter, sondern durch die Einsparung von Papier auch nachhaltiger.« ■



Krankheitserreger in der Blutbahn können überschießende Reaktionen des Immunsystems auslösen.

Im Eiltempo Leben retten

Elf Millionen Menschen weltweit erkranken Jahr für Jahr an einer Sepsis, viele sterben. Das Fraunhofer IGB will die Verursacher zuverlässiger und schneller finden – innerhalb einer Krankenhausschicht.

Von Dr. Monika Offenberger

Blutvergiftung ist ein altes Wort für ein aktuelles Leiden: An einer Sepsis erkranken jedes Jahr weltweit etwa elf Millionen Menschen, 280 000 allein in Deutschland.

Eine Sepsis beginnt urplötzlich. Von einer Infektion ausgelöst, führt sie zu unkontrollierten Antworten des Immunsystems. Ohne Behandlung drohen Multiorganversagen, Kreislaufschock und schließlich der Tod. Ursache sind in die Blutbahn eingedrungene Krankheitserreger. Mit Breitbandantibiotika versuchen Ärzte, den unbekanntem Feind zu schlagen. Den Wettlauf mit der Zeit verliert jeder

vierte Erkrankte. Nun gibt es einen neuen Ansatz, die Erreger schnell und sicher zu identifizieren. Handelt es sich um Bakterien – und falls ja, um welche? Oder um Viren, Pilze, Parasiten?

Die Standardprozedur zur Suche nach dem Übeltäter beginnt mit einer Blutprobe des Patienten. Man reichert sie mit einem Nährmedium an, stellt sie in den Brutschrank und hofft, dass sich die unbekanntem Keime vermehren – um sie dann mit dem Mikroskop oder anhand molekularer und biochemischer Merkmale zu bestimmen. »Diese klassische Diagnostik dauert meistens mehrere Tage. Und sie schlägt höchstens bei 30 Prozent der Fäl-

le an, in der Regel jedoch seltener. Hier müssen wir deutlich schneller und zuverlässiger werden«, sagt Kai Sohn vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Der promovierte Biologe leitet das Innovationsfeld In-vitro-Diagnostik. Seit 2014 ist er auf der Suche nach Biomarkern, die sich ebenfalls aus Blutproben von Patienten gewinnen lassen, aber deutlich höhere Trefferquoten liefern als die gängige Brutschrank-Methode. Fündig wurde er bei einer besonderen Klasse von Nukleinsäuren, der zellfreien DNA, kurz cfDNA: Sie besteht aus einer Vielzahl von DNA-Fragmenten, die aus abgestorbenen oder vom

Immunsystem zerstörten Zellen freigesetzt wurden und dann für kurze Zeit in der Blutbahn zirkulieren. Zellfreie DNA lässt sich aus dem Blut isolieren und mit handelsüblichen Hochdurchsatztechniken über Nacht sequenzieren. »In einer Blutprobe analysieren wir bis zu 30 Millionen unterschiedliche DNA-Fragmente. Jedes einzelne vergleichen wir bioinformatisch mit bekannten Sequenzen aus öffentlich zugänglichen Datenbanken«, erklärt Kai Sohn. Dabei zeigt sich, dass 95 bis 99 Prozent der cfDNA vom Patienten selbst stammen. Die übrigen ein bis fünf Prozent sind nichtmenschlichen Ursprungs – und müssen also von einem oder mehreren Keimen stammen. »Auch diese Fragmente vergleichen wir Stück für Stück mit Referenzgenomen aus den Datenbanken«, so der Forscher. »Am Ende können wir dann sagen, mit welchen Mikroorganismen wir es zu tun haben. Und wir wissen außerdem, in welchen Mengen sie vorkommen. Daraus können wir ableiten, wie relevant sie für die Infektion und die Sepsis sind – und mit welchen Medikamenten sie sich am besten bekämpfen lassen.«

Zusatzvorteil bei diesem Ansatz: Die Zahl der cfDNA-Fragmente im Blut ist meist um ein Vielfaches höher als die Zahl intakter Mikroben, die für die Anzucht im Brutschrank gebraucht werden. Hinzu kommt, dass sich auch geringste Mengen von Nukleinsäuren problemlos vervielfachen lassen. Entsprechend gut stehen die Chancen, die Verursacher einer Sepsis mit einer vielfach höheren Zuverlässigkeit zu identifizieren. Dass die Methode funktioniert, konnte Kai Sohn an über 250 Blutproben von 48 Patientinnen und Patienten der Uniklinik Heidelberg überprüfen – und bestätigen: Mithilfe der Standarddiagnostik ließen sich nur bei 29 Proben im Blut bestimmte Bakterien identifizieren. Dagegen konnte das Fraunhofer-Team bei 169 Blutproben die relevanten Erreger mittels cfDNA zuordnen. »Damit hat unser Ansatz eine mindestens fünffach höhere Sensitivität als die herkömmliche Methode und ist grundsätzlich schneller«, so das Fazit des Biologen.

Alle an der Studie beteiligten Patienten waren gemäß guter medizinischer Praxis schnellstmöglich mit Breitbandantibioti-

ka behandelt worden. Mehr als die Hälfte von ihnen hätte jedoch spezifischere und somit wirkungsvollere Medikamente erhalten können, wenn die auf cfDNA beruhende Diagnose zugrundegelegt worden wäre. Derzeit wird der Methodenvergleich bei weiteren 500 an Sepsis erkrankten und 50 gesunden Testpersonen an 20 deutschen Universitätskliniken durchgeführt. Die aufwendige multizentrische Studie wird von der Dietmar Hopp Stiftung gefördert, ebenso wie ein Forschungsprojekt an den Unikliniken Essen und Heidelberg. »Dort wollen wir unsere verbesserte Diagnostik

Den Wettlauf mit der Zeit verliert jeder vierte Erkrankte.

an schwer erkrankten Neugeborenen, Frühgeborenen und Kleinkindern überprüfen. Denn die Sepsis betrifft neben alten Menschen vor allem die ganz jungen«, erläutert Kai Sohn. Weiterhin soll in Zukunft die Sequenzierung mittels sogenannter Nanoporen erfolgen, mit der sich DNA-Moleküle beliebiger Länge in Echtzeit analysieren lassen. Zwar arbeiten konventionelle Hochdurchsatzsequenzer schon heute in nur 16 Stunden die gesamte cfDNA einer Probe auf; inklusive der anschließenden Datenauswertung lässt sich daraus binnen 24 Stunden eine Diagnose ableiten. »Aber auch hier gibt es Verbesserungspotenzial für die Behandlung einer Sepsis«, betont Kai Sohn. Sein Ziel: »Mit der Nanoporen-Technik wollen wir das in sechs bis acht Stunden schaffen, also innerhalb einer Krankenhausschicht.«

Schon heute verfügen neben vielen Forschungslaboren auch etliche Universitätskliniken über leistungsfähige Hochdurchsatzsequenzierer. Entscheidend ist das Wissen, welche Probe in welcher Weise vorbereitet werden muss, um aus den Massen von Sequenzdaten die Informationen herauszufiltern, die für eine medizinische Diagnose relevant sind. »Genau hier liegen unserer Kompetenzen«, betont

Kai Sohn: »Wir bilden den kompletten Prozess ab. Von der Probenahme und Aufbereitung bis zur Analyse und Interpretation der betrachteten Nukleinsäuren kommt alles aus einer Hand und ermöglicht höchste Effizienz und Schnelligkeit.« Sepsis-Diagnostik ist nur einer von vielen Bereichen, in denen die schnelle und präzise Bestimmung von Nukleinsäuren gefragt ist. Unbekannte Keime befallen verschiedenste Gewebe und Organe; ihre DNA zirkuliert nicht nur im Blut, sondern in weiteren Körperflüssigkeiten, etwa in Gelenken oder im Gehirn.

Auch bei Krankheiten, die nicht von körperfremden Erregern ausgehen, leisten DNA-Analysen gute Dienste. Kai Sohn nennt als Beispiel die Tumordiagnostik: »Bei Patienten mit schmerzhaft veränderter Bauchspeicheldrüse stellt sich die Frage: Ist das ein Pankreaskarzinom oder nur eine Entzündung? Letztere lässt sich mit Medikamenten behandeln. Ein Tumor muss dagegen so früh wie möglich komplett entfernt werden, sonst sind die Überlebenschancen gering.« Derzeit bringt nur eine Gewebeprobe des Patienten Aufschluss, doch dazu braucht es eine Biopsie. Künftig ließe sich dieser unangenehme und womöglich riskante chirurgische Eingriff durch eine Blutanalyse ersetzen, glaubt Sohn.

In Kooperation mit dem Universitätsklinikum Erlangen und einer Schweizer Bioinformatik-Firma sucht das Fraunhofer IGB-Team nach geeigneten Biomarkern. »Wir isolieren die cfDNA von Pankreas-Patienten und sehen uns an, welche Abschnitte chemisch verändert sind. Diese epigenetischen Signaturen sagen uns, ob ein Gen aktiv oder abgeschaltet ist. Wenn sich ein Tumor entwickelt, dann sind bestimmte Gene stillgelegt; bei einer Entzündung sind andere Gene in ihrer Aktivität verändert. Durch Vergleiche mit Gesunden identifizieren wir Signaturen, die eine eindeutige Diagnose erlauben. Und wir haben schon einige vielversprechende Kandidaten«, erklärt Sohn. Seine Vision: »Wenn ein Pankreaspatient in die Klinik kommt, wollen wir ihm sofort sagen können, woran er ist. Ein Test, der schnelle und eindeutige Ergebnisse liefert, kann sein Leben retten.« ■

Hugo-Geiger-Preis

Ehrenpreis für Nachwuchs- wissenschaftler

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

Von Laura Rottensteiner-Wick

Ein Händchen für die
Energiewende: Dr. Markus
Feifel bei der Arbeit.

»Markus Feifel ist es gelungen, die Wirkungsgrade von III-V auf Silicium-Solarzellen von

19,7 auf
25,9 %

zu erhöhen,
ein wesentlicher
technologischer
Schritt.«

Prof. Andreas Bett,
Fraunhofer ISE



1. Preis: Dr. Markus Feifel, Fraunhofer ISE

Solarstrom auf kleiner Fläche

»Hocheffiziente III-V-Mehrfachsolarzellen auf Silicium«

Dr. Markus Feifel leistet einen aktiven Beitrag zur Energiewende. »Es ist sehr befriedigend, an etwas zu forschen, das in naher Zukunft einen signifikanten Mehrwert für die Menschheit haben kann«, sagt der junge Physiker.

In seiner Dissertation zum Thema »Hocheffiziente III-V-Mehrfachsolarzellen auf Silicium« am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gelang Feifel die Entwicklung einer komplexen und sehr leistungsfähigen III-V-auf-Silicium-Solarzellenstruktur, die bereits mehrere Wirkungsgradrekorde aufstellen konnte. Für die Ergebnisse seiner Forschung wurde er mit dem ersten Platz des Hugo-Geiger-Preises 2021 ausgezeichnet. »Die Auszeichnung ist die schönste Form der Anerkennung für die Arbeit, Zeit und auch die Nerven, die über mehrere Jahre in die Arbeit geflossen sind«, freut sich Feifel.

Das Smartphone piepst, die Server summen, und in den Fabriken rattern die Maschinen. Ohne Strom würde die moderne Welt zusammenbrechen. Doch Energie hat ihren Preis – und das nicht nur in ökonomischer Hinsicht. Der Energiesektor verursacht noch immer einen Großteil der weltweiten CO₂-Emissionen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist politisch mehr gewollt und stärker benötigt denn je. »Erneuerbare Energien lösen uns von Abhängigkeiten. Erneuerbare Energien sind deshalb Freiheitsenergien«, sagte FDP-Bundesfinanzminister Christian Lindner am 27. Februar 2022 bei einer Sondersitzung des Bundestags zum Krieg in der Ukraine. Doch der Mangel an geeigneten Standorten und die ausgereizten Wirkungsgrade bestehender Technologien begrenzen die Möglichkeiten. Diesem Problem widmete sich Dr. Markus Feifel durch die Entwicklung einer neuartigen Solarzelle. »In herkömmlichen Silicium-Solarzellen wird

nur ein Absorber-Material verwendet, um das Sonnenlicht in elektrische Leistung umzuwandeln«, erklärt Feifel. Silicium ist das zweithäufigste Element in der Erdhülle. Der Markt dafür ist ausgebaut. Doch in der Produktion erreichen Silicium-Zellen momentan nur einen Wirkungsgrad von bis zu 24 Prozent. »Das Ziel ist, mit einem vergleichbaren Kosteneinsatz deutlich mehr Strom auf derselben Fläche zu produzieren und auch kleine, momentan nicht rentable Flächen für Solarenergie nutzbar zu machen, beispielsweise im Automotive-Bereich«, gibt Feifel vor.

Eine Lösung bietet die sogenannte Tandem-Photovoltaik, bei der mehrere Absorber übereinandergestapelt werden, um so ein größeres Spektrum des Sonnenlichts aufnehmen zu können. Die Teilzellen sind dabei nur wenige Mikrometer dünn und verwerten ausschließlich den Teil des Lichts, den sie mit vergleichsweise geringen Verlusten in Strom wandeln können. Die Technik existiert, III-V-Mehrfachsolarzellen erreichen bereits Wirkungsgrade von bis zu 39,2 Prozent. Statt Silicium kamen bei Mehrfach-Solarzellen bislang ausschließlich sogenannte III-V-Verbindungshalbleiter zum Einsatz, eine Verbindung von Materialien der chemischen Hauptgruppe III (Erdmetalle/Borgruppe) und V (Stickstoff-Phosphor-Gruppe), die deutlich seltener auftreten als Silicium. Für die Nutzung in herkömmlichen Flachmodulen sind die Kosten der III-V-Halbleiter daher noch zu hoch, die Technik wird fast ausschließlich im Weltraum eingesetzt. Feifels Ansatz verbindet die Vorteile beider Technologien.



Dr. Markus Feifel

»Bei meiner III-V auf Silicium-Solarzellenstruktur werden zwei III-V-Teilzellen anhand von Kristallzucht (Epitaxie) direkt auf eine Basis aus kostengünstigem Silicium »aufgewachsen«, sagt Feifel.

Die große Herausforderung dieser Verbindung liegt in den unterschiedlichen Gitterstrukturen von Silicium und dem ersten aufgewachsenen III-V-Halbleiter Galliumphosphid. »Dadurch entstehen Kristalldefekte, welche die Leistung eklatant verringern«, so Feifel. Er startete daher mit einem Wirkungsgrad von nur 19,7 Prozent. Die Detektion der Defekte war aufwendig. Ein Durchbruch gelang ihm durch die erstmals für dieses Materialsystem eingesetzte ECCI-Methode (Electron channelling contrast imaging) der Fehlererkennung und -analyse. »Die Methode wurde bislang vor allem für Metalle eingesetzt und kann eine erheblich größere Fläche auf einmal analysieren.« So stieß Feifel auf einen bestimmten Fehlertyp und konnte die III-V-Wachstumsbedingungen entsprechend anpassen.

»Markus Feifel ist es gelungen, die Wirkungsgrade von III-V auf Silicium-Solarzellen von 19,7 auf 25,9 Prozent zu erhöhen, ein wesentlicher technologischer Schritt«, so Prof. Andreas Bett, Leiter des Fraunhofer ISE. »Es ist sicherlich noch ein Weg zu gehen mit Verbesserungen der Materialien und der Prozesse, bevor die Ergebnisse in die industrielle Produktion überführt werden. Aber seine Dissertation bildet die Grundlage für diese Entwicklung.« ■

Zum zweiten und dritten Preis ▶



Preisträgerin Dr. Miriam Strangl, 28.

2. Preis: Dr. Miriam Strangl, Fraunhofer IVV

Ein Näschen fürs Recycling

Analyse und Bewertung geruchsaktiver Eigenschaften in Kunststoffabfällen und Rezyklaten

Dem Geruchssinn widmete sich die Forschung von Dr. Miriam Strangl am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV. Im Rahmen ihrer Dissertation analysierte die 28-jährige Lebensmittelchemikerin die Geruchsbelastungen von recyceltem Kunststoff und wird dafür mit dem 2. Platz des Hugo-Geiger-Preises 2021 geehrt.

Ein nachlässiger Umgang mit Ressourcen stinkt zum Himmel – und das manchmal in einem sehr konkreten Sinn. Beim Recycling von Plastik haben Wissenschaft und Industrie große Fortschritte gemacht in der Optik und bei den mechanischen Eigenschaften. Doch als weiteres Haupthemmnis für den breiten Einsatz von Rezyklaten bleibt der unerwünschte Geruch. »Stellen Sie sich vor, Sie greifen im Supermarkt nach einem Shampoo und die Verpackung riecht zum Beispiel nach Käse«, beschreibt Dr. Miriam Strangl die Problematik. »Ich würde behaupten, die meisten Kunden stellen das Produkt zurück ins Regal.« Ihre Analyse dieses Problems im Rahmen ihrer Dissertation zum Thema »Charakterisierung geruchsaktiver Verbindungen in Post-Consumer Polyolefinen« ist jetzt mit dem 2. Platz des Hugo-Geiger-Preises 2021 ausgezeichnet worden.

Kunststoff ist allgegenwärtig. Die Recyclingquote von Plastikverpackungen liegt weltweit derzeit aber bei nur etwa 14 Prozent, der Rest landet in Verbrennungs-

anlagen, auf Mülldeponien oder gelangt unkontrolliert in die Umwelt. Ressourcenschonung und ein nachhaltigerer Umgang mit Kunststoffabfällen gelten als zentrale Herausforderungen unserer Zeit.

Doch die Geruchsbelastung von recycelten Kunststoffen bremst die Wiederverwertung gerade in verbrauchernahen Anwendungen. Gerüche können in Kunststoffe migrieren oder entstehen im Aufbereitungsprozess und sind dann schwer daraus zu entfernen. Das Ergebnis ist ein Phänomen, das Downcycling genannt wird: Recycelte Produkte können nur noch eingeschränkt eingesetzt werden. Vor allem die physiko-chemischen Eigenschaften der in der Verpackungsindustrie hauptsächlich verarbeiteten Polyolefine begünstigen die Geruchsmigration. Auch durch eine fehlende Trennung von Restmüll und reinen Plastikabfällen – oft selbst im gelben Sack – kommt der Kunststoff in Kontakt mit verschiedensten Müllkomponenten und Geruchsquellen. Und die Analyse der verschiedenen störenden Gerüche ist komplex. »Geruch lässt sich maschinell bisher noch nicht so präzise erfassen und analysieren wie etwa die Optik

oder mechanische Eigenschaften«, erklärt Prof. Andrea Büttner, Strangls Doktor Mutter und Institutsleiterin des Fraunhofer IVV. »In die Richtung wird geforscht – zum Beispiel am Fraunhofer IVV –, aber hier haben wir noch ein gutes Stück des Weges vor uns. Die menschliche Nase ist in der analytischen Sensorik immer noch unschlagbar.«

Zur Geruchsstoffanalyse hat Preisträgerin Strangl daher einen kombinatorischen chemo-analytischen und zugleich human-sensorischen Ansatz gewählt und so die jeweiligen Vorzüge von Mensch und Maschine vereint. »Nach der Isolierung der flüchtigen Fraktionen aus den Probenmaterialien und der Anwendung von chromatographischen Trenntechniken werden die verschiedenen Gerüche an dem sogenannten Sniffing-Port durch geschultes Personal charakterisiert. Gleichzeitig werden die Geruchsstoffe auch instrumentell-analytisch detektiert«, erläutert Strangl. Kombiniert mit dem Wissen über typische Geruchsquellen und Bildungswege schafft ihre Forschung so eine Grundlage für die Entwicklung ziel-



Miriam Strangl bei der Analyse der Geruchsbelastung.

»Geruch lässt sich maschinell bisher noch nicht so präzise erfassen und analysieren wie etwa die Optik oder mechanische Eigenschaften.«

Prof. Andrea Büttner,
Leiterin Fraunhofer IVV

gerichteter und innovativer Dekontaminationsansätze mit besonderem Fokus auf die Geruchsminimierung. »Damit gehen wir einen weiteren Schritt in Richtung eines nachhaltigen Closed-Loop-Recyclings.« Doch auch wir Verbraucherinnen und Verbraucher müssen uns buchstäblich an der eigenen Nase packen. »Wir sollten grundsätzlich überlegen, ob wir eigentlich so viele Duftstoffe in unseren Produkten benötigen. Hier könnte man zumindest einen Teil des Problems direkt an der Wurzel packen.«

Dass ihre Dissertation mit dem 2. Platz des Hugo-Geiger-Preises 2021 ausgezeichnet wurde, ist Strangl nicht nur eine Ehre: »Das zeigt mir auch, dass die große Bedeutung dieser Thematik erkannt wurde. Es geht ja nicht nur um das Bewusstsein für die Geruchsproblematik, auch andere Kontaminanten müssen eliminiert werden. Allen Beteiligten der Wertschöpfungskette wird immer klarer, dass die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen ganzheitlich und interdisziplinär angegangen werden muss, um Ressourcen nachhaltig zu schonen.« ■



Laborarbeit im Dienst der Nachhaltigkeit:

»Allen Beteiligten wird immer klarer, dass die Kreislaufwirtschaft ganzheitlich angegangen werden muss.«

Dr. Miriam Strangl

3. Preis: Dr. Jessica Schwarz, Fraunhofer FKIE

Der Mensch im Fokus

Multifaktorielle Echtzeitdiagnose des Nutzerzustands in adaptiver Mensch-Maschine-Interaktion

Dr. Jessica Schwarz geht es um den Menschen. »Bei Mensch-Maschine-Interaktionen muss die Technik den Menschen unterstützen – nicht umgekehrt«, fordert die Wissenschaftlerin. »Sowohl der Mensch als auch die Maschine sind störanfällig«, begründet Schwarz. »Schon aus Gründen der Ethik und Haftung muss die Verantwortung vor allem in sicherheitskritischen Bereichen weiterhin beim Menschen bleiben.«



Wir reagiert das Gehirn unter Stress? Dr. Jessica Schwarz untersucht über Sensoren die mentalen Zustände eines Probanden bei einer komplexen Überwachungsaufgabe am Computer.



Im Rahmen ihrer Dissertation zum Thema »Multifaktorielle Echtzeitdiagnose des Nutzerzustands in adaptiver Mensch-Maschine-Interaktion« am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE entwickelte Dr. Jessica Schwarz die Nutzerzustandsdiagnose RASMUS. Diese ermöglicht eine multifaktorielle und somit ganzheitliche Erfassung und Bewertung mentaler Zustände und Einflussfaktoren auf arbeitende Personen bereits während der Aufgabenbearbeitung und schafft so die Basis für passgenaue Adaptierungsstrategien. Für die Ergebnisse ihrer Arbeit wurde die Forscherin nun mit dem 3. Platz des Hugo-Geiger-Preises 2021 ausgezeichnet.

Die Digitalisierung krepelt die Arbeitswelt um und schafft sowohl neue Möglichkeiten als auch neue Herausforderungen. Die adaptive Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) bietet dabei als Schnittstelle die Chance, den Menschen bei seiner Arbeit maschinell optimal zu unterstützen. Dieses Ziel setzt sich Dr. Jessica Schwarz in ihrer Forschung sehr bewusst.

»Als Psychologin beschäftige ich mich in dem Bereich MMI schwerpunktmäßig mit den menschlichen Faktoren«, erklärt Dr. Jessica Schwarz, die inzwischen die Leitung der Forschungsgruppe »Human Factors Analysis« in der Abteilung »Mensch-Maschine-Systeme« des Fraunhofer FKIE übernommen hat. Ihre Arbeit fokussiert deshalb auf einen Mensch-zentrierten Gestaltungsprozess. »Die Technik muss den Menschen unterstützen, nicht umgekehrt.«

Will man technische Systeme adaptiv auf den Menschen abstimmen, ist eine kontinuierliche Erfassung der mentalen Verfassung des Nutzers erforderlich. Denn sogenannte kritische Nutzerzustände sind häufige Unfallursachen von sicherheits-

kritischen Mensch-Maschine-Systemen, etwa im Automobilbereich oder in der Luftfahrt. »Ein tragisches Beispiel ist der Absturz einer Air-France-Maschine im Jahr 2009, bei dem alle Insassen ums Leben kamen«, so Schwarz. »Die Piloten wurden von einem Ausfall des Autopiloten überrascht und von dem technischen System nicht ausreichend dabei unterstützt, die hohe emotionale Belastung und ein falsches Situationsbewusstsein rechtzeitig

»Sie verwendet Leistungseinbrüche, um den technischen Adaptierungsprozess auszulösen. Über die physiologischen Maße und Verhaltensmaße versucht sie dann, die Ursachen für die Leistungsminderung zu ermitteln.«

Prof. Gerhard Rinkenauer, IfADo

zu überbrücken.« Genau an solchen menschlichen Leistungseinbrüchen setzt Schwarz' Forschung an. Während bisher überwiegend versucht wird, über kritische Veränderungen in den physiologischen Maßen den Adaptierungsbedarf festzustellen, geht Schwarz einen neuen Weg. »Sie verwendet Leistungseinbrüche, um den technischen Adaptierungsprozess auszulösen. Über die physiologischen Maße und Verhaltensmaße versucht sie dann, die Ursachen für die Leistungsminderung

zu ermitteln«, erläutert Schwarz' Doktorvater Prof. Gerhard Rinkenauer, leitender Wissenschaftlicher Mitarbeiter Mensch-Technik-Interaktion am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo).

Für eine optimale Erfassung des Nutzerzustandes hat Schwarz im Rahmen ihrer Promotion die multifaktorielle Echtzeitdiagnose RASMUS entwickelt. Der ganzheitliche Ansatz der Diagnose berücksichtigt sowohl die Wechselwirkungen verschiedener Dimensionen des Nutzerzustandes wie etwa Müdigkeit, Ablenkung oder Situationsbewusstsein als auch äußere Einflussfaktoren. Das Ergebnis ermöglicht eine passgenaue Unterstützung seitens der Technik, die den produktiven Selbstregulierungsstrategien des Nutzenden nicht entgegenwirkt. »Auf Basis dieser ganzheitlichen Zustandserfassung kann das adaptive System sehr zielgerichtete Strategien auswählen, um die Leistungsfähigkeit des Menschen wieder herzustellen«, sagt Schwarz. Die Adaptierungsstrategien umfassen konkrete Hilfestellungen wie optische oder akustische Hinweise oder auch eine Reduktion der Beanspruchung und technische Übernahme bestimmter Aufgabenteile. Dieses sogenannte dynamische Adaptierungsmanagement wurde aufbauend auf der von Schwarz entwickelten Echtzeitdiagnose von

ihrem Kollegen Sven Fuchs im Rahmen einer eigenen Dissertation erarbeitet. »Gemeinsam haben wir ein funktionsfähiges adaptives System geschaffen, das jetzt in die Anwendung gehen kann«, so Schwarz.

»Dass ich mit einem für die Fraunhofer-Gesellschaft eher ungewöhnlichen Thema aus dem Bereich der Psychologie und Ergonomie eine solche Auszeichnung erhalten habe, freut und ehrt mich sehr«, so die Preisträgerin. »Das ist eine tolle Wertschätzung, auch für die Ergonomie.« ■

Röntgen mit höchster Brillanz

Am Elektronensynchrotron in Grenoble entsteht mit der BM18 Beamline eine weltweit einmalige Röntgenanlage. Sie kann große Objekte mit einer nie dagewesenen Detailschärfe scannen – industrielle Bauteile genauso wie menschliche Organe.

Von Christine Broll



Wenn Prof. Simon Zabler über die neue Röntgenanlage am Elektronensynchrotron in Grenoble spricht, greift er zu Superlativen. Die BM 18 Beamline produziert einen der brillantesten Röntgenstrahlen der Welt. Er ist zehn Trillionen Mal brillanter, als die in der Medizin genutzten Strahlen. »Die Anlage ist eine weltweit einmalige Messstation für die zerstörungsfreie Prüfung großer Bauteile. Wir können Objekte von 70 Zentimeter Breite und 180 Zentimeter Höhe mit einer Auflösung von 25 Mikrometer scannen«, betont der Abteilungsleiter am Entwicklungszentrum Rönt-

gentechnik des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS und Leiter des BM18-Projekts.

Zabler freut sich, dass er seinen Industriekunden bald computertomographische Messungen auf dieser einmaligen Anlage anbieten kann. Die Anforderungen an die Prüfung von Bauteilen werden immer größer. Die Nachfrage kommt aus den verschiedensten Branchen. Vom Automobilbau über die Luftfahrtindustrie bis hin zu Windradherstellern. Mit der CT wollen die Firmen zum Beispiel die Fügenähte bei Autokarosserien prüfen oder die Struktur eines Faserverbundwerkstoffs beurteilen. CT-Anlagen im Labor stoßen beim Wunsch

nach immer besserer Auflösung an physikalische Grenzen. Diese Grenzen lassen sich nur durch Röntgenanlagen überwinden, die an einem Elektronensynchrotron betrieben werden, wie zum Beispiel der European Synchrotron Radiation Facility ESRF in Grenoble am Rand der französischen Alpen. Die ESRF wurde 1994 gegründet und wird von 22 Partnerstaaten finanziert.

Aus der Luft betrachtet sieht die ESRF aus wie ein riesiges, ringförmiges Ufo, das am Zusammenlauf zweier Flüsse gelandet ist. Der Umfang des Rings beträgt fast einen Kilometer. In seinem Inneren zirkulieren Elektronen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit. 24 Stunden am Tag, sieben Tage die

Das Elektronensynchrotron in Grenoble hat einen Umfang von rund einem Kilometer. In dem Betonring zirkulieren Elektronen mit 99,99 Prozent der Lichtgeschwindigkeit.

Der Röntgendetektor ermöglicht die bei großen Objekten einmalige Auflösung von **0,025** Millimetern.

Beamline, die wir zu einer einzigartigen Anlage für die industrielle CT ausbauen«, erklärt Simon Zabler. Er ist ein ausgewiesener Experte für Synchrotron-Bildgebung und hat bereits vor über 20 Jahren seine Master- und Diplomarbeit in Grenoble gemacht. »Fraunhofer übernimmt gemeinsam mit den Universitäten Passau und Würzburg die Entwicklung der Detektortechnologie und der Datenverarbeitung, die ESRF baut die restliche Hardware auf«, berichtet der Physiker. Das Gemeinschaftsprojekt wird vom BMBF mit 6,3 Millionen Euro gefördert.

In der BM18 Beamline wird der am Elektronenspeicherring erzeugte Röntgenstrahl 200 Meter weit durch eine Vakuumröhre geleitet, ehe er in der großen Experimentierhalle ankommt. Hier trifft er auf das Objekt, das sich auf einem Podest dreht und sukzessive gescannt wird. Nach dem Durchtritt durch das Objekt trifft der Röntgenstrahl auf den bis zu 40 Meter entfernten Detektor. »Durch den großen Abstand des Objekts zur Röntgenquelle und zum Detektor erhalten wir extrem scharfe Bilder mit einem einzigartigen Phasenkontrast«, betont Zabler. Um diese Bilder festzuhalten, hat das Entwicklungszentrum Röntgentechnik des Fraunhofer IIS einen Röntgendetektor entwickelt, der neue Maßstäbe setzt. Er ermöglicht die bei großen Objekten einmalige Auflösung von 0,025 Millimetern.

Die Datenmengen, die die Röntgenkameras liefern, sind enorm. »Bei Vollbetrieb erzeugen wir pro Sekunde zwei Gigabyte Tomographie-Daten«, hat Zabler ausgerechnet. Um diese Datenflut zu bewältigen, arbeitet das Entwicklungszentrum Röntgentechnik eng mit den Lehrstühlen von Prof. Tomas Sauer in Passau und von Prof. Randolph Hanke in Würzburg zusammen. Hier geht es zuerst darum, aus den Daten der einzelnen Scans das Volumenbild des Objekts zu rekonstruieren.

»Wenn wir die Daten einfach roh auf den Servern des ESRF speichern würden, wäre die gesamte Speicherkapazität der Großforschungseinrichtung nach einem Monat voll«, verdeutlicht Zabler. Daher arbeitet das Projektteam an der verlustfreien Kompression der Bilddaten. Die riesigen 3D-Bilder werden so komprimiert, dass beliebige Bildausschnitte auf dem

Laptop in Echtzeit dekomprimiert und visualisiert werden können.

Offizieller Messbetrieb startet im Dezember

Obwohl das Projekt gleich nach seinem Start im Frühjahr 2020 von der Pandemie getroffen wurde, konnten Ende 2021 die ersten Probemessungen durchgeführt werden. Als Showcase für die enorme Detailschärfe hat das Team bereits Scans eines Smartphones veröffentlicht. Weitere Beispielaufnahmen folgen im Laufe des Jahres, ehe im Dezember der Messbetrieb für die Industriekunden startet. »Untersuchungen, für die wir mit der Labor-CT eine Woche brauchen, können wir in Grenoble in wenigen Stunden erledigen – und das in weit besserer Qualität«, verspricht Zabler. »Fraunhofer übernimmt natürlich die komplette Abwicklung des gesamten Messvorgangs.«

Für Industriekunden ist ein Achtel der Strahlzeit der BM18 Beamline vorgesehen. Die restliche Zeit steht für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung. Um die Zuteilung von Strahlzeit haben sich schon jetzt wesentlich mehr Forschende beworben, als berücksichtigt werden können. Die Auswahl trifft eine unabhängige Jury. Ein Projekt ist bereits genehmigt: der »Human Organ Atlas«. Bei diesem Vorhaben werden menschliche Organe aus der Pathologie mit enormer Genauigkeit gescannt und der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Die ersten Aufnahmen hat das Projektteam bereits an einer Schwester-Beamline aufgenommen. Das Faszinierende an den Bildern ist, dass man in das Organ hineinzoomen und sogar zelluläre Strukturen erkennen kann. An der BM18 Beamline will das internationale Team demnächst den Torso eines Verstorbenen in 3D scannen und der Welt damit einen einzigartigen anatomischen 3D-Atlas zur Verfügung stellen. ■

Weitere Infos:



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

Woche. Die enorme Energie dieser Elektronen wird zur Erzeugung von Röntgenstrahlung genutzt. Dazu gibt es am Speicherring rund 50 Anlagen, die als Röntgenquelle dienen. Von dort wird die Strahlung in geraden Röhren, sogenannten Strahllinien, tangential vom Ring weggeleitet und für die verschiedensten wissenschaftlichen Experimente verwendet.

Neue Maßstäbe für die industrielle CT

»Im Zuge der Renovierung des Elektronenspeicherrings hat die ESRF neue Strahllinien gebaut. Eine davon ist die BM18



SINGAPUR

Durchblick im Gesetzesdschungel

Die chinesischen Vorschriften für Cybersecurity, Kryptographie und Datensicherheit sind für ausländische Automobilhersteller kaum zu erfassen. Durchblick liefert eine neue Studie des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT und Fraunhofer Singapur. Hier sind alle relevanten Gesetze und Regelungen zu finden, ebenso wie alle zuständigen chinesischen Institutionen, Behörden, Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, Gremien, Ansprechpartnerinnen und -partner. Der Überblick ist nicht nur für Automobilhersteller und Zulieferer relevant, sondern auch für Technologieanbieter und Interessierte aus Forschung und Entwicklung. Zusätzlich gibt die Studie einen Ausblick auf die Zukunft der Sicherheit der Elektromobilität in China und analysiert relevante Veröffentlichungen von Regierung, Industrie und NGOs. Die Übersicht soll regelmäßig aktualisiert werden und steht kostenfrei zum Download bereit unter www.sit.fraunhofer.de/NEVChinaSurvey



In den letzten fünf Jahren hat sich der Absatz von E-Autos in China mehr als vervierfacht, von 652 000 auf 2 734 000 Fahrzeuge.

Fraunhofer international



NIEDERLANDE

Klar Schiff am Meeresgrund

Millionen Tonnen Müll liegen auf dem Grund von Gewässern. Bislang können nur Taucher den Abfall bergen, Aufwand und Kosten dafür sind hoch. Doch bald könnte ein autonomes Robotersystem diese Arbeit übernehmen: SeaClear soll mit einer Quote von 80 Prozent Unterwasserabfälle erkennen, klassifizieren und zu 90 Prozent einsammeln.

Unter der Leitung der Technischen Universität Delft entwickelt das Fraunhofer Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML zusammen mit sechs weiteren Partnern den Müllsammelroboter. Das System besteht aus einem unbemannten Suchschiff, einem Tauch- und Sammelroboter sowie einer Drohne. Es kartografiert die Bodenverschmutzung, unterscheidet

sie von maritimen Bewuchs und sammelt den Abfall ein.

Die Fraunhofer CML-Forschenden entwerfen und implementieren die Hard- und Softwareinfrastruktur sowie die Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen den Robotern und einem Landkontrollzentrum. Neben der technischen Koordination ist das Fraunhofer CML für die Entwicklung des Sammelkorbs zuständig, in dem der Müll deponiert wird. Er beinhaltet die Elektronik, die zur Lokalisierung und Ortung des Abfalls beiträgt. Den ersten Praxistest hat SeaClear mit Brauerei bestanden und Plastikmüll vor der Küste Kroatiens geborgen. Demnächst folgen weitere Tests im Hamburger Hafen.



Plastikmüll kostet jedes Jahr rund 135 000 Meeressäugern das Leben.



EUROPA

Schnelleres Laden mit intelligenten Sensoren



Vom Smartphone bis zum E-Auto: Schnelleres Laden, höhere Reichweite und längere Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien sind die Ziele des europäischen Forschungsprojekts SPARTACUS. Auf dem Weg dorthin sind die Forschenden nun einen großen Schritt vorangekommen. Koordiniert vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC haben die Projektpartner neue Sensorkonzepte sowie Prognosemodelle für den Batteriezustand und die optimale Ladesteuerung erarbeitet. Jetzt werden diese Einzel-

Akustisch-mechanische und thermische Sensoren helfen, die Lade- und Entladezyklen optimal auszusteuern.

komponenten zu einem neuartigen Monitoringsystem zusammengefügt, das bisher brachliegende Reserven im Batteriemangement erschließt. Das Ergebnis: eine Reduktion der Ladezeiten um bis zu 20 Prozent – ohne Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Batterie zu beeinträchtigen.

Das Fraunhofer ISC arbeitet vor allem an der Sensorentwicklung zur Überwachung der Batteriezellen. Die Messdaten werden den Batteriemangementssystemen übermittelt und machen ein zustandsabhängiges optimales Laden und Entladen möglich. Fehler und negative Einflüsse auf die Batterielebensdauer und -leistungsfähigkeit werden frühzeitig entdeckt.

Wie von dichtem
Nebel umgeben
– Demenzpatienten
erreicht oft nichts
mehr.



EUROPA

Der Demenz auf der Spur

Die zuverlässige Früherkennung von Alzheimer ist das Ziel des europäischen Forschungsprojekts DEBBIE. Die Krankheit wird oft erst entdeckt, wenn eindeutige klinische Symptome auftreten. Dann ist die unheilbare Störung des Gehirns bereits weit fortgeschritten und Nervenschädigungen irreversibel. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medizin MEVIS entwickeln eine neuartige Steuerungssoftware, eine sogenannte Messsequenz, die eine detailliertere Bildgebung mithilfe von Magnetresonanztomographen (MRT) ermöglicht und krankhafte Veränderungen frühzeitig sichtbar machen soll.

Die Software versetzt den MRT- Tomographen in die Lage, Veränderungen der Blut-Hirn-Schranke (BHS) genauestens abzubilden. Dabei kann auf patientenbelastende Kontrastmittel verzichtet werden. Ist die BHS beschädigt, können Schadstoffe in die Gehirnzellen eindringen, das Gewebe stören oder verändern, noch bevor sich erste Alzheimer-Symptome zeigen. Beginnt man bereits jetzt mit einer Therapie, lässt sich die Gedächtnisleistung länger erhalten. Begleiterscheinungen der Krankheit wie Störungen der Orientierung, der Sprache oder der Wahrnehmung können dann voraussichtlich gemildert werden.



CHILE

Ökologisch dämmen

Aus pflanzlichen Abfällen der chilenischen Land-, Forst- und Holzwirtschaft haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI Dämmstoffe für den Wohnungsbau entwickelt. In Kooperation mit chilenischen Industriepartnern ist es dem Team so gelungen, eine umwelt- und klimafreundliche Alternative zu den bislang üblichen mineralischen und erdölbasierten Produkten herzustellen. Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen sind in Chile noch weitgehend unbekannt. Die Forschenden nutzen vor allem Gräser, Weizen- und Haferstroh. Damit können



Bisher werden pflanzliche Abfälle in Chile kaum genutzt.

nachhaltige Dämmmaterialien hergestellt werden, die zusätzlich zum Wärmeschutz auch Schall- und Brandschutznormen erfüllen.

Die innovativen Baustoffe binden CO₂ aus der Atmosphäre und können zudem als Rohstoff für diverse Konsumgüter wie dünne Formteile in der Automobilindustrie wiederverwendet werden. Am Ende der Wertstoffkette lassen sich die pflanzlichen Fasern verbrennen oder kompostieren.

Algen prêt à porter:

Mode aus dem Bioreaktor

Die wasserabweisende Jacke, die bequeme Stretchjeans, das figurbetonende Sommerkleid: Wollten Verbraucher alle erdölbasierten Kunstfasern aus dem Kleiderschrank verbannen, hätten sie drei Viertel weniger Auswahl. Weil fossile Ressourcen knapp werden, sucht die Textilindustrie nach Alternativen und findet sie in – Algen.

Von Mandy Bartel

Als der Anruf von Adidas kam, waren Dr. Ulrike Schmid-Staiger und Gordon Brinitzer sofort begeistert. Der Sportartikelhersteller ist das erste Textilunternehmen, das Textilfasern aus Algen produzieren will. Die Herzogenauracher hatten bereits gute Erfahrungen mit bisherigen Nachhaltigkeitsprojekten, etwa mit Kunstfasern aus Plastikstrandgut, gesammelt. Der große Zuspruch dazu zeigte: Nachhaltige und umweltfreundliche Mode ist ein langfristiger Trend, für den Kundin-

nen und Kunden bereit sind, auch mehr Geld auszugeben. Auf der Suche nach neuen biobasierten Ausgangsstoffen für seine Kleidung stieß das Unternehmen auf die Algenbiotechnologie-Forschung von Schmid-Staiger und Brinitzer am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart.

Für die zwei Forschenden versprach die Anfrage der Adidas AG eine neue Anwendungsmöglichkeit für die vielfältigen Fettsäuren, die Mikroalgen unter bestimmten Bedingungen in ihren Zellen bilden.

Bereits vor zehn Jahren arbeiteten sie in einem Projekt daran, aus den fettsäurereichen Algen namens »Chlorella vulgaris« Biodiesel herzustellen. Doch der anfängliche Hype um die nachhaltigen Kraftstoffe wurde gebremst durch hohe Herstellungskosten und durch die politische Bevorzugung der E-Autos.

Von der Alge bis zur Kunstfaser

Im Projekt AlgaeTex sollen nun auf Basis von Algenfettsäuren verschiedene Biopo-



lymere für Textilfasern hergestellt werden und breiten Einsatz in der Textilindustrie finden. »Algen eignen sich als Rohstoff im Sinn einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft sehr gut«, sagt Brinitzer. »Sie verwerten zum einen CO₂ und zum anderen lassen sich Reststoffe des Verarbeitungsprozesses wie etwa Proteine auch in anderen Branchen wiederverwenden.« Nicht nur um die Algen aufzubereiten, sondern in der gesamten Prozesskette setzt das Forscherteam durchgehend auf die Grundsätze der grünen Chemie, wie Abfallvermeidung oder weniger gefährliche chemische Synthesen. Das ist auch der Adidas AG wichtig, die jeden Prozessschritt in puncto Nachhaltigkeit auf den Prüfstand stellt.

Dass aus den mikroskopisch kleinen grünen Zellfabriken modische Kleidungsstücke entstehen, ist abgestimmte Teamarbeit: Das Fraunhofer IGB kultiviert die Mikroalgen zunächst in Photobioreaktoren. Durch eine limitierte Stickstoffzufuhr bilden die Algen vermehrt die gewünschten Fettsäuren, die sich in bis zu 50 Prozent der Biomasse anreichern. Diese Algenfettsäuren werden dann durch Druck, Hitze und grüne Chemikalien extrahiert

und stehen nun als Ausgangsstoff für die Polymerherstellung bereit. Ein Team an der Universität Bayreuth erstellt daraus in weiteren Prozessschritten spinnbare Polyamide und Polyester. Das Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen ITA spinnt die erzeugten Biopolymere im Schmelzspinnverfahren zu Kunststofffasern und evaluiert zusammen mit Adidas ihre Verarbeitbarkeit zu gestrickten Textilien.

Zehnmal höhere Ausbeute durch LED-Licht

Einen Knackpunkt bei der bisherigen Freilandkultivierung der Algen mit natürlichem Sonnenlicht stellte die Ausbeute dar. Deshalb werden im Fraunhofer IGB vielversprechende Versuche mit LED-Licht und einem neuen Stack-Aufbau der Photobioreaktoren gemacht. Auf einem Quadratmeter finden dichtgepackt plattenförmige Bioreaktoren mit einem Volumen von derzeit bis zu 250 Litern nebeneinander Platz. »Das künstliche Licht ermöglicht eine Steigerung der Ausbeute in diesem System um den Faktor 10, weil es im Vergleich zum sehr volatilen Sonnenlicht dauerhaft brennt und die Algen

rund um die Uhr Photosynthese betreiben können«, erläutert Schmid-Staiger. Den dadurch resultierenden höheren Strombedarf decken die Forschenden mit regenerativen Energien. Durch die extrem kompakte Bauweise kann nun auf wenigen Quadratmetern dieselbe Menge Biomasse produziert werden wie zuvor auf einem ganzen Hektar mit Sonnenlicht.

Mit dem Projekt AlgaeTex sind die Partner im BMBF-geförderten Innovationsraum »Biotextfuture« vertreten, der nachhaltige Rohstoffquellen für die Textilbranche erschließen will. Noch ist das Verfahren auf den Labormaßstab beschränkt. Ziel ist es, im Frühsommer 2022 etwa 20 Kilogramm Algenbiomasse für die weitere Verarbeitung bereitzustellen. Daraus sollen dann erste Demonstrationstextilien entstehen, in denen die Biopolymerfasern zunächst zu 50 Prozent und später zu einem größeren Anteil beigemischt sind. Prinzipiell lässt sich aus den Algenfasern jede Art von Textilien herstellen. In Aussehen, Haptik und Funktion bieten die biobasierten Stoffe dann die gleichen Vorteile wie ihre erdölbasierten Verwandten. Plus ein gutes ökologisches Gewissen für ihre Trägerinnen und Träger. ■



Die Mikroalge *Chlorella vulgaris* bildet Fettsäuren, aus denen man Biopolymere für Textilfasern herstellen kann.

Fotos: Chokniti Khongchum/shutterstock, BIOTEXFUTURE

»Das künstliche Licht ermöglicht eine Steigerung der Ausbeute in diesem System um den Faktor 10.«

Dr. Ulrike Schmid-Staiger,
Fraunhofer IGB

Algenfasern könnten Chemiefasern als nachhaltige Alternative bald Konkurrenz machen – ohne Einbußen bei Qualität, Optik oder Funktion.

Mit Künstlicher Intelligenz gegen Hautkrebs

Harmloses Muttermal oder gefährlicher Hautkrebs? Ein KI-basierter Ganzkörperscanner soll in Zukunft schnell und treffsicher entscheiden.

Von Meike Grewe



Sechs Minuten – mehr braucht der innovative Scanner nicht, um 98 Prozent der Körperoberfläche zu erfassen. Kurz darauf erfolgt per Künstlicher Intelligenz (KI) eine individuelle Risikoanalyse und Diagnose – eine Revolution in der Hautkrebsfrüherkennung, entwickelt von Forscherinnen und Forschern am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI, und internationalen Partnern im Projekt IToBoS.

Hautkrebs ist nicht nur die weltweit häufigste Tumorerkrankung, sondern auch besonders heimtückisch. Gerade im Anfangsstadium lässt er sich leicht mit einem harmlosen Muttermal verwechseln und verursacht keinerlei Schmerzen. Je frühzeitiger er jedoch erkannt und behandelt wird, desto besser ist er heilbar. Eine präzise, regelmäßige Diagnostik ist daher entscheidend.

Bisher steht gesetzlich Versicherten ab 35 Jahren alle zwei Jahre eine Früherkennungsuntersuchung zu, die die Ärztin oder der Arzt per Augenschein oder, bei auffälligen Hautstellen, per Auflichtmikroskop durchführt. Dieser Check-up dauert in der Regel 15 Minuten, aber selbst bei einer einstündigen Sitzung könnten maximal 20 Prozent der Körperoberfläche inspiziert werden. Zudem sollten diese Screenings regelmäßig erfolgen, denn gerade Veränderungen einzelner Hautpunkte sind ein wichtiges Indiz für Hautkrebs. Dafür müssen Auffälligkeiten exakt dokumentiert werden – ein aufwendiges und fehleranfälliges Verfahren, das der neue Ganzkörperscanner überflüssig macht: Der komplette Scan wird auf einen 3D-Avatar übertragen und in der Patientendatenbank abgelegt.

Damit behält man nicht nur die Veränderung einzelner Läsionen im Blick, sondern die Entwicklung des gesamten Hautbildes. Auch ob bereits ein grund-

gender UV-Schaden der Haut vorliegt, soll das System erkennen – eine Diagnose, die bei der regulären Visite nicht erfolgt. Der UV-Schaden wird mithilfe eines kognitiven KI-Assistenten aus unterschiedlichen Quellen ermittelt. Dabei beziehen die Algorithmen alle zur Verfügung stehenden Patienteninformationen mit ein wie die Krankengeschichte, die Lebensumstände, die erbliche Belastung oder die Lage jedes einzelnen Muttermals. Aus diesen Informationen bestimmt der KI-Assistent das Hautkrebsrisiko. Jeder Risikoeinschätzung liegt eine Erläuterung bei, die medizinischen Expertinnen und Experten erlauben soll, die Einschätzung der KI zurückzuverfolgen und die Analyse damit fundiert zu interpretieren.

»Je mehr Daten den Machine-Learning-Modellen zur Verfügung stehen, desto präziser die Vorhersagen«, erklärt Dr. Sebastian Lapuschkin, Leiter des IToBoS-Projekts am Fraunhofer HHI. Er sieht seine Forschungsgruppe »Erklärbare Künstliche



Je frühzeitiger Hautkrebs erkannt und behandelt wird, desto besser ist er heilbar.

Menschen mit vielen Muttermalen sollten ihren Körper sorgfältig beobachten. Bei der Beurteilung der Leberflecke hilft die ABCDE-Regel: Aufbau, Begrenzung, Colour (Farbe), Durchmesser und Entwicklung.

Intelligenz« (XAI) vor allem als technischen Partner und möchte ein System bauen, das wirklich aussagekräftig ist. Dabei geht es nicht nur darum, per KI ein Hautkrebsrisiko zu ermitteln, sondern das Ergebnis auch begründen zu können. Grundsätzlich sei die KI eine Black Box, die mit einer großen Menge an Daten gefüttert werde, aus denen sie selbstständig lerne und Regeln ableite, so Lopuschkin. Warum sie zu welchen Schlüssen kommt, bleibt im Verborgenen. Bei XAI jedoch geht es vereinfacht darum, die Entscheidungsprozesse offenzulegen.

Für ihre Analyse muss die KI Daten lesen, verarbeiten, unterschiedliche Charakteristika extrahieren und unzählige Entscheidungen treffen. »Wir wollen Informationen über all diese Teilentscheidungen haben, damit wir diese hinterfragen und verstehen können«, sagt Lopuschkin. Zieht die KI etwa aus Bildern eines stark behaarten Hautkrebspatienten die falschen Schlüsse,

müssen die Forschenden darauf reagieren. »Wenn wir wissen, dass die Haarindikatoren zu stark mit einer positiven Diagnose korrelieren, können wir das im nächsten Trainingsprozess entsprechend berücksichtigen«, erläutert Lopuschkin.

Die Fraunhofer HHI-Forschenden müssen herausfinden, welche internen Features für das Fehlverhalten verantwortlich sind, sie entfernen oder unterdrücken, damit die KI zuverlässig und sicher arbeitet. »Unsere Aufgabe ist es, ein neues Level der Erklärbarkeit zu gewährleisten«, sagt Lopuschkin. Die endgültige Diagnose stellt immer noch die Medizinerin oder der Mediziner. Und erkennt das System Hautkrebs, weil der Proband an dieser Stelle ein Tattoo trägt, muss das nachvollziehbar sein. Das Ziel der Forschenden ist, den Ganzkörperscanner massentauglich zu machen und damit so viele Daten zu sammeln wie möglich. Denn je mehr die KI weiß, desto unwahrscheinlicher werden falsche Schlussfolgerungen.

Noch werden die Modelle mit Hautkrebsbildern aus Datenbanken trainiert, da die Scanner bislang keine eigenen Fotos aufnehmen konnten. Das werden sie später mit speziellen Flüssiglinsenkameras tun. Deren Linsen basieren auf zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Brechung und ermöglichen eine noch nie dagewesene Bildqualität. Sie sind in der Lage, subkutane Bilder zu erzeugen, indem sie quasi durch die oberste Hautschicht blicken und Körperbehaarung keine Rolle mehr spielt. Polarisierendes Licht aus mehreren Richtungen verhindert Reflexionen und beleuchtet nur die relevante Hautschicht.

Momentan verzögert sich die Fertigstellung der Scanner. Die weltweiten Lieferengpässe betreffen unter anderem mechanische Komponenten und Kameras, die für den Bau der Prototypen notwendig sind. Diese sollen zunächst in drei Krankenhäusern in Spanien, Italien und Australien zum Einsatz kommen. ■

5500 Kaffeebecher,
aufgetürmt zum
Kunstprojekt CupCube.

Foto & Fraunhofer

Nachhaltig genießen

Deutsche lieben Kaffee – auch aus Einweg-Bechern. Pro Stunde werden nach Zahlen des Umweltministeriums 320 000 Stück verbraucht, fast drei Milliarden pro Jahr: zehn Minuten Nutzung, meist nicht-recyclbarer Müll auf Dauer, 48 000 Tonnen CO₂-Emissionen in der Summe.

Im Januar haben Fraunhofer und Partner in der SmartFactoryOWL in Lemgo, einer Einrichtung des Fraunhofer IOSB-INA und der Technischen Hochschule OWL, eine digital unterstützte und nachhaltige Kunststoffproduktion eingeweiht. Zusammen mit dem Startup CUNA Products GmbH werden in dem KI-Reallabor

Mehrwegbecher hergestellt aus einem nachhaltigen, biobasierten Kunststoff ohne Einsatz von Öl, wiederverwendbar und recycelbar. Dort wird kollaborativ in einem realen Produktionsbetrieb an Industrie-4.0.-Technologien geforscht. Die datenbasierte Produktion in der SmartFactoryOWL nennt Prof. Jürgen Jasperneite ein »Operieren am offenen Herzen«. Der Direktor des Fraunhofer IOSB-INA verspricht sich davon vor allem viel Tempo: »Dieser Ansatz bietet den schnellsten Reifeprozess von digitalen und nachhaltigen Innovationen.«



Holzhybrid statt Stahlbeton

Hybride Holzsysteme könnten Stahlbeton in Zukunft Konkurrenz machen, denn sie sind nicht nur nachhaltig, sondern holen auch in Sachen Stabilität deutlich auf.

Von Dr. Janine van Ackeren

Holz ist weitaus klimafreundlicher als Stahlbeton – es wächst schnell nach, bindet CO₂ und ist lokal verfügbar. Auch ist der Wohlfühlfaktor in Holzhäusern höher als hinter Betonwänden.

Doch es gibt einen Wermutstropfen: In puncto Stabilität ist Holz Stahlbeton unterlegen, vor allem die Zug- und Druckfestigkeiten senkrecht zur Faserrichtung sind vergleichsweise niedrig. Kombiniert man Holz allerdings mit anderen Materialien, verbessern sich die mechanischen Eigenschaften der Gesamtkonstruktion stark. Mit Faser-verbundkunststoffen oder Beton vereint könnten selbst Holzarten und Sortierklassen eingesetzt werden, die sich bisher nicht für die Bauindustrie eignen – das bietet einen größeren Spielraum für eine klima- und umweltgerechte Forstwirtschaft.

Gewicht senken, Produktionsprozess beschleunigen

Während es zum Kurzzeitverhalten solcher Holz-Hybrid-Werkstoffe bereits verschiedene aktuelle Studien gibt, ist über das Langzeitverhalten nur wenig bekannt. Doch gerade das ist elementar, wenn es um Baumaterialien geht. Eine Nachwuchsforscherguppe will diese Lücke nun schließen und untersucht unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI die Dauerhaftigkeit solcher hybriden Holzbausysteme. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL, Projektträger ist die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. »Bislang hat der Holzbau mit etwa 10 bis 15 Prozent einen geringen Anteil am deutschen Baumarkt. Unser Ziel ist es, das signifikant zu ändern«, sagt Prof. Libo Yan, Senior Scientist und Nachwuchsgruppenleiter am Fraunhofer WKI. Wäre gesichert, dass die Hybridbaumaterialien Wind und Wetter über lange Zeit trotzen können, dürfte dieser Baustoff sicherlich einen Aufschwung erleben. Die Forscherinnen und Forscher aus aller Welt untersuchen Kombinationen aus Holz und Beton ebenso wie Holz, das durch Carbonfasern oder Flachs in einer Polymermatrix zusätzliche Stabilität gewinnt. Was die Kombination von Schnittholz und Beton angeht, hat das Team zunächst einmal einen neuen Weg entwickelt, die Materialien miteinander zu verbinden. Üblicherweise geschieht dies mechanisch – also über Stahlnägel, Stahl-

platten und Stahlnetze. »Indem wir die Materialien mit Polyurethan oder Epoxidharz verkleben, können wir das Gewicht der Holz-Hybride senken und den Produktionsprozess um bis zu 15 Prozent beschleunigen«, sagt Yan.

Wind, Sonne, Regen ...

Auch wenn es widersprüchlich klingen mag – schließlich geht es ja um Langzeitversuche: Am Anfang der Untersuchungen stehen Kurzzeitversuche. Denn Langzeitversuche über 20 Jahre sind teuer und nicht praktikabel, schließlich soll der Weg für die neuen Baumaterialien möglichst schnell geebnet werden. Für die Kurzzeitversuche von Stunden oder Tagen verbinden die Forschenden die Materialien, etwa Beton und Holz. Anschließend spannen sie die äußeren Holzteile ein und bringen auf den Beton eine definierte Kraft auf. Wie viel Kraft ist nötig, um die Klebeschicht zu zerstören und den Materialverbund auseinanderzureißen? Aus solchen und anderen Messungen entwickelt das Forscherteam ein theoretisches Modell. Dazu untersuchen sie via Mikroskop auch die Mikrostruktur der Klebestelle. »Wir wollen eine Korrelation zwischen dem makroskopischen Verhalten und der Mikrostruktur herstellen«, sagt Yan. »Dabei gehen wir auch auf die chemische Ebene: Wie beispielsweise verändern sich die chemischen Komponenten an der Schnittstelle? Auf diese Weise können wir die Eigenschaften der Hybridmaterialien gezielt verbessern.«

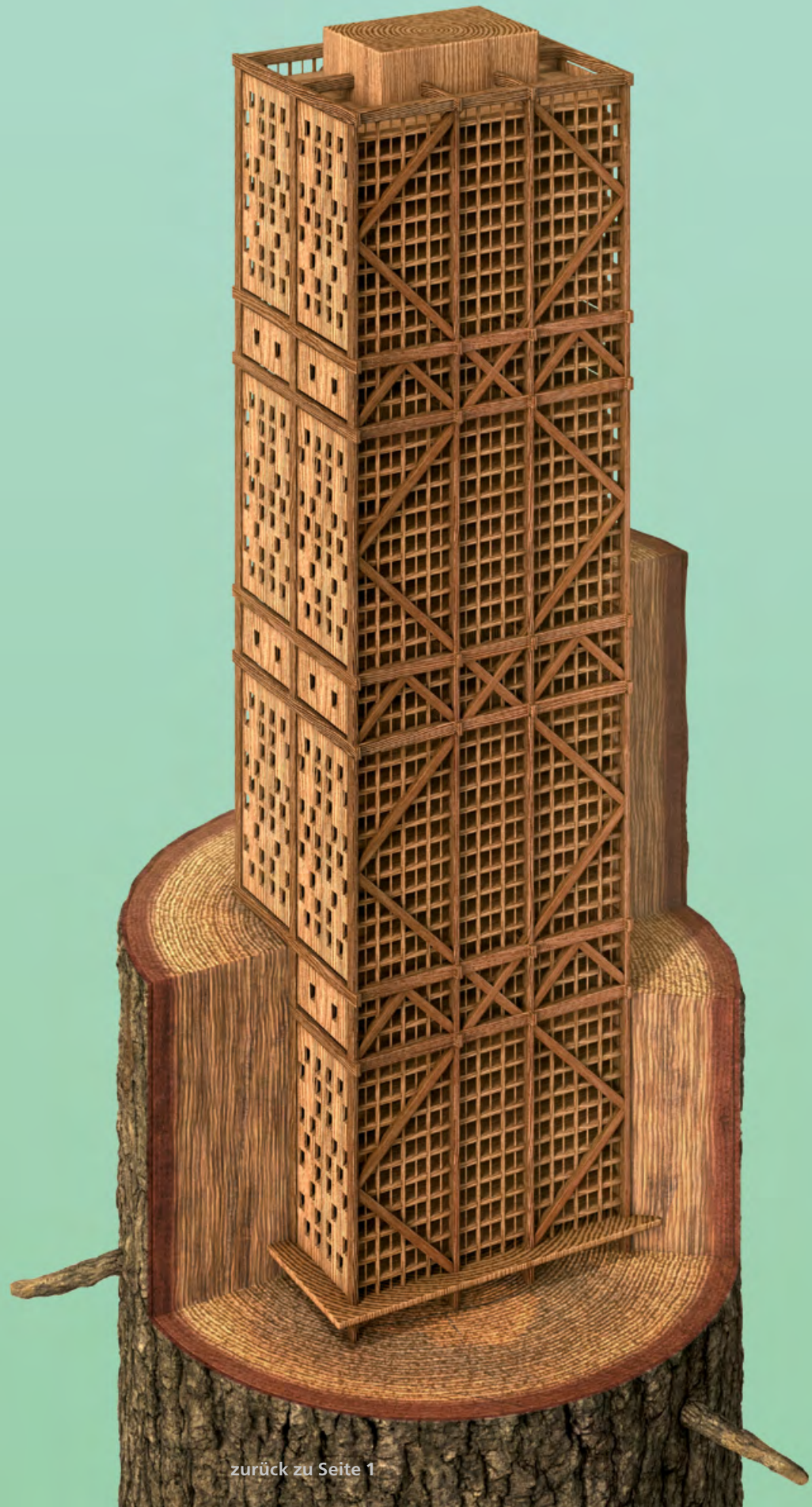
Um das erstellte Modell zu validieren und die Realität bestmöglich einzufangen, schließen die Forscherinnen und Forscher an die Kurzzeitversuche längerfristige Untersuchungen an. In diesen setzen sie fünf bis sechs Meter lange Hybrid-Paneele im Freiland Wind, Regen und Sonne aus, für zwei Jahre. Wie sehr werden sie dadurch in Mitleidenschaft gezogen? Sagt das Modell dies stimmig voraus? »Über die Ergebnisse können wir das Modell weiter optimieren«, sagt Yan – und berechnen, wie sich die Holz-Hybrid-Materialien über einen Zeitraum von 50 Jahren verhalten, damit sie künftig auf dem Bau eingesetzt werden können. ■

<http://s.fhg.de/holz-hybrid>



»Bislang hat der Holzbau mit etwa **10 bis 15 %** einen geringen Anteil am deutschen Baumarkt. Unser Ziel ist es, das signifikant zu ändern.«

Prof. Libo Yan,
Fraunhofer WKI



Jeder Kubikmeter Holz kann etwa eine Tonne CO₂ dauerhaft speichern. Wird das Holz verbaut, bleibt das CO₂ gebunden, während zugleich Raum für neue Bäume entsteht.

Zukunft Quanten- internet

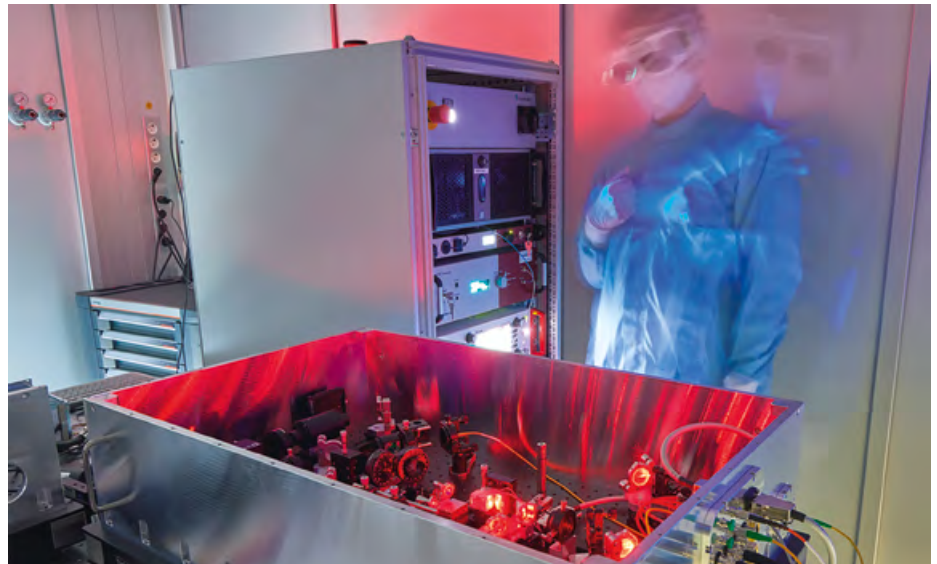
Wenn Quantencomputer an unterschiedlichen Standorten sicher, schnell und stabil miteinander vernetzt werden, eröffnet das künftig völlig neue Möglichkeiten.

Von Mandy Bartel

Über das Internet wurden 2021 weltweit 38 Exabyte an Daten ausgetauscht – so viel wie noch nie: 38 Trillionen Bytes – eine Zahl mit 18 Nullen. Als 52 Jahre zuvor vier US-amerikanische Großrechner erstmals miteinander verbunden wurden – die Geburtsstunde des Internets –, ahnte wohl kaum jemand, wie sehr diese Innovation die Welt prägen würde. Inzwischen sprengen die Datenmengen die Möglichkeiten herkömmlicher Rechnerarchitekturen. Quantencomputer werden zu Hoffnungsträgern. Ihre Vernetzung würde nicht nur die Rechenkapazitäten weiter erhöhen und für eine sichere Kommunikation sorgen, sondern – ähnlich wie das Internet – das Spektrum der Anwendungsgebiete erweitern und Raum für Innovationen bieten.

Der großen Aufgabe gestellt

Quantencomputer nutzen als kleinste Recheneinheit Qubits, die sich jedoch nicht so ohne Weiteres übertragen lassen wie herkömmliche Bits. Forschende von Fraunhofer haben sich gemeinsam mit ihren niederländischen Kolleginnen und Kollegen von QuTech, einer Kollaboration der TU Delft und der Forschungsorganisation TNO, der großen Aufgabe gestellt: Sie entwickeln die technologischen Grundlagen für ein Quanteninternet in Europa.



Laborprototyp für einen rauscharmen Quantenfrequenzkonverter.

»Photonik ist der Schlüssel«, verspricht Prof. Constantin Häfner, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT in Aachen. »Wir nutzen die Eigenschaften einzelner Photonen sowie von Quanteneffekten wie der Superposition und der Verschränkung, um Quanteninformationen gezielt zu übertragen und Quantenprozessoren an verschiedenen Orten miteinander zu verbinden«, erklärt er. Dabei sind die Lichtteilchen im Gegensatz zu anderen Quantensystemen wie supraleitenden Qubits nicht nur bei kryogenen, also extrem gekühlten, Umgebungsbedingungen stabil und lassen sich über größere Entfernungen übertragen, ohne dass relevante Informationen verloren gehen. Das Problem: Die verschränkten Photonen haben eine andere Wellenlänge als für die verlustarme Übertragung in bestehenden Telekommunikationsleitungen nötig ist.

Eine Lösung, und damit einen Meilenstein auf dem Weg zu einem stabilen Quantennetzwerk, hat das Fraunhofer ILT mit der Optimierung sogenannter Quantenfrequenzkonverter gefunden – ein Gerät, in dem die Wellenlängen der Photonen durch ausgeklügelte Optiken angepasst werden. »Diese Quantenfrequenzkonverter ermöglichen es, fragile Quanteninformationen effizient und rauscharm über längere Distanzen durch bereits bestehende Glasfaserleitungen der Telekommunikationsdienstleister zu übertragen. Sie

übersetzen dabei die Lichtfrequenz der Quantenprozessoren in die passende Frequenz von den existierenden Glasfasernetzen«, erklärt Häfner. »Mit unserer Entwicklung haben wir am Fraunhofer ILT einen ersten Weltrekord an Rauscharmut und perspektivisch auch am sogenannten Signal-zu-Rausch-Verhältnis aufgestellt.«

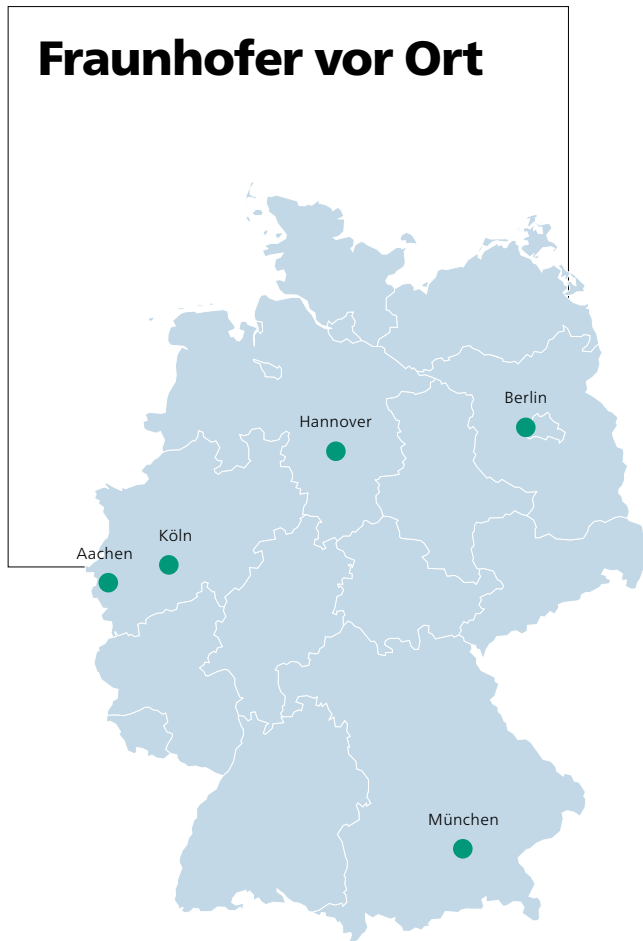
Erster deutscher Quantenknoten

Nun plant das Fraunhofer ILT in Aachen den ersten deutschen Quantenknoten in einem länderübergreifenden Quantennetzwerk, das von QuTech koordiniert wird. Es soll Quantenprozessoren in Aachen mit Rechnern in den niederländischen Städten Delft, Leiden, Den Haag und Amsterdam verbinden. »Solche grenzüberschreitenden Initiativen sind besonders wichtig, um sich im internationalen Wettbewerb – insbesondere gegenüber den USA und China – in Sachen Quantentechnologien gut zu positionieren«, ist Häfner überzeugt. Die Etablierung des Quantenknotens wird die Geburtsstunde des europäischen Quanteninternets sein und man darf gespannt sein, welche Möglichkeiten sich damit noch bieten. ■

Zum Podcast Quanteninternet:



Fraunhofer vor Ort



- Berlin**
26.–28.4.2022
DMEA
 Leitveranstaltung zur Digitalisierung des Gesundheitswesens
- München**
26.–29.4.2022
LASER World of PHOTONICS
 Das Fraunhofer ILT stellt seine Forschung zum Quanteninternet und weitere Quantentechnologien vor.
- Köln**
26.–29.4.2022
Anuga Foodtec
 Internationale Zuliefermesse für die Lebensmittel- und Getränkeindustrie
- Aachen**
4.–6.5.2022
AKL'22 – 13. International Laser Technology Congress
 Führendes Forum für angewandte Lasertechnik in der Produktion
- Hannover**
30.5.–2.6.2022
Hannover Messe
 Weltleitmesse der Industrie
- Berlin**
22.–23.6.2022
HUB Berlin
 Kongress des Digitalverbands Bitkom
- Berlin**
22.–26.6.2022
ILA Berlin
 Internationale Fachmesse der Luft- und Raumfahrtindustrie

Stand: März. 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 brauchen einen Wandel der Wirtschaft und einen Wandel bei den Konsumentinnen und Konsumenten.«

Prof. Andrea Büttner, Geschäftsführende Institutsleiterin Fraunhofer IVV



Ein Ei aus dem Labor, ganz ohne Huhn – glutenfrei, dazu frei von Cholesterin und Allergenen. Sogar die Schale ist biologisch abbaubar und kann kompostiert werden.