

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten



Wie wir sicher essen

Lebensmittel:
Versorgung
für die Zukunft



CDU-Vorsitzender
Friedrich Merz
im Interview

»Überall liegen
Möglichkeiten
für neue Wert-
schöpfung.«

Kevin Bregler vom Fraunhofer IPA
hat den Roboter CURT (I.) entwickelt



Megachance
Metaverse
– wie der Digitale
Zwilling jetzt schon
die Industrie verändert



Ausstellung

»Down to Earth Space Technology«

4. – 6. Mai 2023

Kommt vorbei!

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

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



Wir brauchen europäische Kompetenz

Künstliche Intelligenz ist eines der wichtigsten digitalen Zukunftsthemen. Bereits heute übernimmt sie zahlreiche Aufgaben wie das Steuern autonomer Fahrzeuge, das Stellen medizinischer Diagnosen oder den Schutz vor Cyber-Angriffen. Damit verändert die Künstliche Intelligenz zahlreiche Branchen radikal und spielt eine entscheidende Rolle in der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Transformation.

Für die Zukunft von KI-Systemen wird vor allem entscheidend sein, wie die Zusammenarbeit zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz gestaltet wird. Denn werden Maschinen – KI-gestützt oder autonom – in Fabrikhallen oder Krankenhäusern eingesetzt, dürfen sie nicht nur nach vorab trainierten Modellen basierend auf großen Datenmengen agieren. Vielmehr müssen sie auch in der Lage sein, menschliche Beobachtungen einzubeziehen und den Kontext zu verstehen. Eine vielversprechende Lösung bietet hybride KI durch ihre Kombination aus menschlichem Expertenwissen und datenbasierten Ansätzen, die statistische Zusammenhänge mit Methoden des Maschinellen Lernens analysieren.

Auch die Fraunhofer-Gesellschaft nutzt hybride KI bereits für industrierelevante Lösungen. Ein Beispiel ist »Robo-Grind«, ein flexibles und hochautomatisiertes KI-System zur Oberflächenaufbereitung. Robotergestützt ermöglicht es eine wirtschaftliche Wiederaufbereitung von Gerätekomponenten – wie beispielsweise Rotorblätter von Windkraftanlagen oder Zahnrädern von Elektromotoren – und bietet eine effiziente Alternative zur Neuproduktion.

Befähigen können KI-Algorithmen auch das »Metaverse«.

Mittels Datenbrillen und Extended-Reality-Technologien lässt sich das 3D-Internet »betreten« und ermöglicht so die nahtlose Interaktion zwischen digitaler und analoger Welt. Relevant ist dies auch für die Industrie – das »Industrial Metaverse« stellt eine Evolutionsstufe der digitalen Transformation und damit ein Update der Industrie 4.0 mit immersiven Technologien dar. In Kombination mit Künstlicher Intelligenz, Digitalen Zwillingen und Datenräumen können vielfältige virtuelle Szenarien für Produktion, Entwicklung und Wartung durchgespielt und ausgewertet werden. Ein Beispiel ist das Projekt »5G Troisdorf Industriestadtspark«, das die Fernbedienung und -wartung von Maschinen entscheidend verbessert. Hierfür werden Produk-

Editorial



Prof. Reimund Neugebauer

tionsmaschinen mit einem Digitalen Zwilling gekoppelt und die digitalen Konstruktionsdaten auf Datenbrillen eingeblendet. Durch 5G-vermittelte Video- und Audio-Übertragung können sich Bediener und Servicedesk trotz räumlicher Trennung aktiv an der Maschine besprechen. Als Avatare dargestellt, können sie sehen, worauf der Gesprächspartner im virtuellen Raum blickt, können mit virtuellen Händen zeigen und einzelne Maschinenteile verschieben oder highlighten.

Das globale Wettrennen um das industrielle Metaverse und KI-Technologien als strategische und wirtschaftliche Ressource hat längst begonnen. Vor diesem Hintergrund ist der Aufbau deutscher und europäischer Kompetenzen bei der Entwicklung sicherer, vertrauenswürdiger und ressourceneffizienter KI- und Metaverse-Technologien entscheidend, um unsere Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität zu sichern.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

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



Inhalt



38 Titel Höhere Erträge, geringere Verluste

Leere Regale, fragile Lieferketten:
Was bringt der Lebensmittelproduktion
mehr Resilienz für Krisenzeiten?



20 »Bereit sein, auch einmal ins Ungewisse zu gehen«

Der CDU-Vorsitzende Friedrich Merz plädiert für mehr Technologie-Offenheit. Allerdings bezweifelt der Hobby-Pilot, dass er je mit Wasserstoff fliegen wird.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

20 »Was mir fehlt, ist Zukunftsoptimismus!«
Im Interview: Oppositionsführer und CDU-Chef Friedrich Merz

24 »Sehr viele Leben retten«
Hoffnungsträger: Ein neues Antibiotikum kann selbst multiresistente Keime attackieren

26 Elektronik – wie gedruckt
Das gute alte Papier wird jetzt smart – dank innovativer Produktionsverfahren

10 Zukunft der Produktion Industrial Metaverse – Fakt oder Fiktion?

Den Digitalen Zwilling ins Meeting schicken, Produktionsabläufe virtuell testen – das Metaverse revolutioniert unsere Arbeitswelt.

10 Chance für den Technologiestandort Deutschland

Mehr als ein Hype: Das industrielle Metaverse beschleunigt Innovationen und hat das Potenzial, die Volkswirtschaft komplett umzugestalten

52 KI – und wo bleibt Europa?

Abhängt von den USA und China? Noch ist es nicht zu spät, in Sachen Künstliche Intelligenz einen eigenen europäischen Weg einzuschlagen

86 Wie die Industrie von Ameisen lernen kann

Die Produktion der Zukunft soll sich nach dem Vorbild der Natur als ganzheitlich vernetztes System organisieren

28 Bienengift gegen Krebs?

Forschende suchen nach einer Bienenart, deren Toxin auf Tumorzellen wirkt

30 Ein Diamant für mehr Bewegungsfreiheit

Edelstein-Sensoren ermöglichen die präzise Steuerung von Exoskeletten

32 Wund(er)bar

Ein Faservlies aus Kieselgel unterstützt die Heilung von Operationswunden

35 Staffellauf des Wissens, Folge 8

Wann werden autonome Fahrzeuge auf deutschen Straßen zum Alltag gehören, Herr Prof. Mario Trapp?

38 Höhere Erträge, geringere Verluste

Neue Wege, um Ernährung sicherer und genussvoller zu gestalten

24 »Sehr viele Leben retten«

Medizinischer Durchbruch: Ein jetzt entdecktes Antibiotikum soll gefährdete Klinik-Keime wirksam bekämpfen.



64 Wohlfühlklima dank smarter Fassaden

Neue Module an der Außenwand können die Räume dahinter wahlweise kühlen oder heizen. Die Testpuppe DressMAN des Fraunhofer IBP misst die nötigen Komfort-Kriterien.

56 Ein Kollege für schwierige Zeiten

Sind Roboter die Antwort auf den grassierenden Fachkräftemangel in Hotellerie und Gastronomie?

58 Funktioniert wie gedruckt

Raus aus der Prototyping-Nische: Der Siegeszug des 3D-Drucks in der Serienfertigung und Medizintechnologie

64 Viel mehr als nur Fassade

Die sehen nicht nur gut aus: Gebäudefassaden spielen eine immer wichtigere Rolle bei der Erreichung der Klimaziele

70 Stimme aus der Wirtschaft

CEO der STRABAG SE Klemens Haselsteiner

72 So wird der Airbus sensibel

Das Fraunhofer IZM will Fliegen energieeffizienter und damit umweltverträglicher gestalten



28 Bienengift gegen Krebs?

Hilfe im Anflug: Was sich die Forschung von Bienen erhofft.

74 Hugo-Geiger-Preise

Exzellente Forschung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

80 Foto & Fraunhofer

Das Projekt WEDUSEA will die Wucht der Wellen als Energiequelle in großem Umfang nutzbar machen

82 Grüner Strom aus dem Tank

Erneuerbare Energie effizient speichern: Der Wettlauf um die besten Flussbatteriesysteme nimmt Tempo auf

84 Fraunhofer international**87 Fraunhofer vor Ort**

38 Prozent der globalen CO₂-Emissionen verursacht laut UNO die Bau- und Gebäudewirtschaft. Damit hinkt sie den im Pariser Klimaschutzabkommen festgelegten Zielen nicht nur deutlich hinterher, die Emissionen nehmen sogar noch zu. Nachhaltige Materialien und innovative Technologien könnten die Wende bringen.

38%

Kurz gemeldet



Britische Truppen erbeuteten die Benin-Bronzen 1897 aus dem Königreich Edo im heutigen Nigeria. Rund 1100 dieser Objekte befinden sich heute in deutschen Museen.

Weltkulturerbe im Röntgenapparat

Wertvolle Benin-Bronzen digitalisiert das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS gemeinsam mit den Staatlichen Museen zu Berlin. Im Zuge der Aufarbeitung seiner kolonialen Vergangenheit gibt Deutschland die geraubten kulturhistorischen Objekte, die bisher in rund 20 deutschen Museen zu finden waren, an Nigeria zurück. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler möchten die bedeutsamen Bronzen in digitaler Form für die Forschung erhalten.

Dafür erzeugen die Expertinnen und Experten am Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT des Fraunhofer IIS mittels modernster Röntgen-Computertomographie dreidimensionale Modelle der wertvollen Bronze-Reliefs und übersetzen sie in digitale Datensätze. Besonders herausfordernd ist für die Röntgentechnik – neben der Größe und Massivität der Bronzen – das Material, Messing. Um dennoch optimale Tomographie-Bilder anfertigen zu können, nutzen die Forschenden für ihr Vorhaben eine der weltweit größten CT-Anlagen, die sich im EZRT in Fürth befindet. Bereits seit 2008 entwickelt das Fraunhofer IIS gemeinsam mit Partnern neue Verfahren für die Kulturguterhaltung. ■

Die Verkehrswende beschleunigen

An einem übergreifenden Ladekonzept für unterschiedliche Fahrzeugtypen arbeitet das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelemente-technologie IISB gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft im Projekt eMobiGrid. Die wachsende Elektromobilität stellt neue Herausforderungen an die Infrastruktur: Stationen zum Aufladen der Batterien müssen in das vor Ort vorhandene stationäre Energienetz optimal integriert sein und für Personen- und Lastkraftwagen bis hin zu Traktoren und Baumaschinen zur Verfügung stehen. Zudem wollen die Projektpartner gemeinsam darauf hinarbeiten, den Nutzungsgrad erneuerbarer Energien zu steigern. Daher setzen sie auf lokale Gleichspannungsnetze. Diese ermöglichen eine verlustarme Kopplung von Batteriespeichern, Photovoltaikanlagen, Windrädern und Wasserstofftechnologien und entlasten dadurch diejenigen Stromnetze, die nur schwach ausgebaut sind. Zusätzlich puffern sie – indem Batterien der Elektrofahrzeuge ihrerseits für das Laden anderer Geräte genutzt werden können – die Überproduktion erneuerbarer Energien ab. ■

Die Infrastruktur für E-Mobilität zu verbessern, ist das Ziel des Projekts eMobiGrid.





Der Zugang zu sauberem Trinkwasser ist keine Selbstverständlichkeit – laut UNICEF und WHO fehlt er weltweit jedem dritten Menschen.

Persönlicher Assistent auf zwei Rädern

Einen flinken Roboter auf zwei Rädern, der sich selbst ausbalanciert und etwa Pakete befördern kann, hat das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML entwickelt. Der sogenannte evoBOT kann sogar zwei Arme ausklappen, um Gegenstände zu greifen, zu befördern und abzulegen. Während bisherige mobile Robotersysteme auf die Ausführung einfacher Aufgaben wie beispielsweise das Schieben und Ziehen von logistischen Gütern beschränkt sind, soll evoBOT in der Lage sein, diese Fähigkeiten zu kombinieren und zu ergänzen. Zu diesen Erweiterungen zählen das Anreichen sowie das Wenden von Dingen.

So kann er nicht nur in der Logistik unterstützen, sondern auch im urbanen Raum agieren. In Krankenhäusern könnte evoBOT Betten schieben und Essen servieren, in der Industrie Fließbänder beladen, im Alltag Einkäufe transportieren sowie beim Ver- und Entladen in Autos und Lkws helfen.

evoBOT ist ein dynamisch stabiles System, das besonders platzsparend und leicht ist und auf dem Prinzip eines inversen Verbundpendels ohne externes Gegengewicht basiert. Der Roboter hält im Gegensatz zu herkömmlichen Modellen permanent das Gleichgewicht. So kann er sich – selbst bei Steigungen – auf unterschiedlichen und unebenen Untergründen bewegen. ■

Smarte Wasserquelle

Einen Wasserhahn, der Trinkwasser direkt am Auslauf desinfiziert, hat die Forschungsgruppe »Smarte UV-Systeme« des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST, entwickelt. Im Gegensatz zu klassischen UV-Desinfektionssystemen kommen hier moderne UVC-LEDs zum Einsatz. Diese sind nicht nur wegen ihres breiteren und optimal angepassten Emissionsspektrums in ihrer Desinfektionswirkung besser als herkömmliche verwendete Quecksilberlampen, sie lassen sich auch sehr schnell ohne Aufheizphase schalten.

Bei Öffnung des Hahns beginnt die Desinfektion augenblicklich, bei Schließung schalten sich auch die LEDs aus – das spart Energie. Eine Rückkontamination in die Leitung wird ebenfalls verhindert: Das Desinfektionsmodul befindet sich direkt hinter dem Auslauf des Wasserhahnes. ■



Um möglichst gut helfen zu können, kann Roboter evoBOT sogar zwei Arme ausklappen.



Ein audiobasiertes Prüfsystem überwacht, ob Steckverbindungen in Automobilen korrekt einrasten.

Es hat Klick gemacht

Verbindungen zwischen Einzelkomponenten werden im Automobilbau nicht mehr geschraubt, geklebt oder geschweißt, sondern per Steckverbindung zusammengesetzt. Ob die Verbindungen richtig eingerastet sind, lässt sich künftig mit einem audiobasierten Prüfsystem feststellen, das Forschende am Institutsteil Hör-, Sprach- und Audioteknologie des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie IDMT entwickelt haben. Dafür erfassen Mikrofone das Klick-Geräusch, Algorithmen analysieren es anschließend. Das Prüfsystem warnt, sobald es eine nicht richtig gesteckte Verbindung identifiziert hat.

Da sich die Klick-Geräusche ähneln, war die Entwicklung der Technologie eine Herausforderung: »Wir arbeiten seit vielen Jahren an Akustikverfahren im Bereich der Geräuscherkennung und -analyse. Unser System kann heute sehr nahe beieinander liegende akustische Signale zuverlässig auseinanderhalten und untersuchen«, erläutert Danilo Hollosi, Gruppenleiter Akustische Ereignisdetektion am Fraunhofer IDMT. Selbst im Lärm der Fabrikhallen können die Algorithmen einzelne Klicks isolieren und analysieren.

Die audiobasierte Technologie passt nicht nur in den Trend, die Fertigungsschritte in der Produktion durch Sensoren zu kontrollieren und dadurch sicherer und zuverlässiger zu gestalten. Sie leistet auch einen spürbaren Beitrag zur Erhöhung der Effizienz und senkt die Kosten. ■

Weniger Lebensmittel verschwenden

Bis zu 15 Prozent der industriell hergestellten Brötchen, Brezeln und Co. landen nicht auf dem Frühstücksteller, sondern werden aufgrund von Fehl- und Überproduktion vernichtet. Ein intelligentes System, das die Produktqualität entlang der Backstraße mithilfe von Sensoren kontinuierlich erfasst, soll das zukünftig verhindern. Entwickelt wurde es von einem Team des Fraunhofer-Instituts für Entwurfstechnik Mechatronik IEM zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie im Projekt SensoBack. Die Sensoren erfassen an mehreren Stellen im Herstellungsprozess die Qualitätsvorgaben hinsichtlich Form, Gewicht oder Teigeigenschaften. So wird es erstmals möglich, den Backprozess Schritt für Schritt entlang der Backstraße zu überwachen, jeden Backschritt mit den Vorgaben zu vergleichen und die einzelnen Prozesse schnell anzupassen.

Bei herkömmlichen Anlagen müssen bisher die einzelnen Prozessparameter, wie etwa die Temperatur, manuell an die verschiedenen Rohstoffeigenschaften wie unterschiedliche Mehlsorten angepasst werden.

Das neue System soll den Bäckerinnen und Bäckern nun dabei helfen, die Produktqualität zu optimieren und gleichzeitig die vorhandenen Ressourcen besser auszunutzen. ■



Auf dem Teller statt in der Tonne: Das Fraunhofer IEM macht Backen mit einem intelligenten Sensorsystem smart.

Impressum

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

Herausgeber:

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

Kostenloses Abonnement:

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

Redaktion:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Kerstin Beckert, Sirka Henning,
Andrea Kaufmann, Michael Krapp,
Dr. Monika Offenberger, Kathrin
Schwarze-Reiter, Stefanie Smuda,
Mehmet Toprak, Yvonne Weiß

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Sven Döring

Fotografie Artikel Digitaler

Zwilling: Maya Claussen

Druck:

Zeitfracht Medien GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2023

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Fischer der kenianischen Gemeinde Mwazaro
können ihre Waren künftig haltbar machen.



Wie aus Sonne Eis wird

Wegen fehlender Möglichkeiten zur Kühlung und Trocknung verderben in ländlichen Gebieten Kenias bis zu 30 Prozent der Lebensmittel. Das wollen Fraunhofer-Forschende ändern.

Ein System zur solaren Eiserzeugung und Trocknung hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit einer deutschen Ingenieursgesellschaft sowie kenianischen Partnern im Projekt SolCoolDry entwickelt.

Es besteht aus zwei Teilen, einer Photovoltaikanlage und zwei solaren Tunnel-trocknern. Mit einer Leistung von 15 Kilowatt speist die Photovoltaikanlage ihre gewonnene Energie in ein dreiphasiges, batteriegestütztes Inselnetz. Damit lassen sich Eismaschine und Kühlraum betreiben. Der überschüssige Solarstrom fließt in Batterien und wird dort gespeichert.

Die beiden Tunnel-trockner erwärmen tagsüber die Luft. Diese wird von Lüftern anschließend über den Lebensmitteln verteilt und trocknet sie. Auch nachts lassen sich die Produkte trocknen – einer der Lüfter ist mit Heizrohren versehen, die von einem Flachkollektor und einem Warmwassertank mit Wärme versorgt werden. Die Anlage wurde Fischern und Bauern in Mwazaro, einer Gemeinde an der Südküste Kenias, zur Verfügung gestellt. Bis zu 30 Prozent der Lebensmittel verderben

dort bisher wegen der mangelnden Strominfrastruktur.

»Ziel war es, ein System zu entwickeln, das die Menschen vor Ort in Eigenverantwortung betreiben können«, erklärt Projektleiter Dr. Alexander Morgenstern vom Fraunhofer ISE. Durch die Haltbarmachung von Fisch, Gemüse und anderen Lebensmitteln können die Bauern und Fischer mehr Produkte verkaufen – auch außerhalb der Saison. Das sorgt für zusätzliche Einnahmen.

In einem Workshop haben die Projektpartner SolCoolDry vor Ort vorgestellt. »Die Anlage wird von der Bevölkerung sehr gut angenommen. Die Fischer fahren bis zu 50 Kilometer, um das Eis abzuholen«, sagt Morgenstern. Auch die Trocknungsanlage ist bereits im Dauereinsatz.

Das Kenya Industrial Research and Development Institute KIRDI wird gemeinsam mit der Beach Management Unit die Anlage betreiben, unterstützt von einem Techniker, der aktuell eingewiesen wird. In Schulungen werden die Fischer im Bereich Qualitätssicherung und hygienischer Verarbeitung ihrer Produkte ausgebildet. ■

Industrial Metaverse – Fakt oder Fiktion?

Ist das zweidimensionale Internet bald Geschichte? Schon heute macht das Metaverse seine enormen Vorteile für Entwicklung und Produktion deutlich.

Von Kathrin Schwarze-Reiter,
Fotografie: Maya Claussen

Ronja Gaulinger,
Fraunhofer IAO

Digitaler Zwilling



Es ist Montagmorgen und Frida Santos betritt ihr Büro. Die junge Frau ist Ingenieurin bei einem mittelständischen Unternehmen, einem der Marktführer im Bereich Solarzellen, weltweit engagiert, aber ansässig in einer deutschen Kleinstadt. Frida Santos macht sich eine Tasse Kaffee, hält einen kleinen Schwatz mit einer Kollegin und bereitet sich dann auf das erste Meeting des Tages vor. Sie wechselt dafür in einen Raum, der akustisch und visuell abgeschirmt ist – er hat keine Fenster, die Wände sind schallgedämmt. Die Ingenieurin setzt sich ihre VR-Brille auf und betritt damit die Virtual Reality. In der Mitte des virtuellen Besprechungszimmers steht ein großer Tisch. Daran sitzen bereits einige Avatare – Kolleginnen und Kollegen aus Darmstadt, Stuttgart, Bologna und San Diego. Niemand musste fliegen, keiner eine Dienstreise beantragen. So klimaneutral funktioniert Zusammenarbeit für unsere erfundene Ingenieurin Frida Santos.

»Fakt oder Fiktion?«, stellt Dr. Dietmar Laß die Frage. Der Senior-Forschungsmanager aus der Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbundes IUK-Technologie gibt die Antwort mit einer klaren Prognose: »Metaverse ist mehr als ein Hype. Sicher ist: Es wird kommen, wie und in welchem Ausmaß auch immer.« Dietmar Laß fungiert mit seinem Team als Schnittstelle zwischen den Aktivitäten verschiedener Fraunhofer-Institute im Bereich Metaverse und dem zunehmenden Interesse großer Unternehmen an der neuen digitalen Wirklichkeit. Der IUK-Verbund entwickelt Metaverse-Technologien und gibt den Unternehmen als verlässlicher Partner Orientierung. »Wir beobachten in den vergangenen Jahren signifikante Investments großer Unternehmen, rasant fortschreitende Technik-Entwicklungen und eine Offenheit für diese Art der Kommunikation.« So prognostiziert Roland Busch, Vorstandsmitglied bei Siemens, einem Kooperationspartner der Fraunhofer-Gesellschaft: »Das industrielle Metaverse wird ein Ort sein, an dem wir Innovationen mit der Geschwindigkeit von Software vorantreiben. Es bietet enormes Potenzial für die Umgestaltung unserer Volkswirtschaften und Industrien.«

Das Metaverse ist eine relevante Chance für den Technologiestandort Deutschland. »Wir können mit unserem Technologie-Knowhow in vielen Bereichen punkten und müssen uns nicht verstecken«, sagt Holger Graf vom Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD. »So werden erweiterte Realität, Softwarelösungen für industrielle Geschäftsprozesse, die Virtualisierung und Verknüpfung von und mit 3D-Content sowie dezentrale, interoperable Datenplattformen in Zukunft eine große Rolle spielen. Wichtig ist, nun ein Innovationsökosystem aufzubauen. Dafür müssen die Digitaltechnologien mit industrieller Basis in Deutschland stärker verknüpft werden.«

Siemens Energy baut schon heute Kraftwerke im Metaverse nach, um vorherzusehen, wann diese gewartet werden müssen. Das Unternehmen verspricht sich davon, die Ausfallzeiten zu reduzieren und so den Kraftwerksbetreibern 1,7 Milliarden Dollar pro Jahr einzusparen. Der Autokonzern BMW plant mit der Omniverse-Plattform des Grafikprozessor-Herstellers Nvidia eine digitale Fabrik. »Erst wenn eine Maschine oder ein Bauwerk im digitalen Modell komplett entworfen und validiert ist, wird es in der Wirklichkeit umgesetzt«, sagt Dr. Leif Oppermann, Experte für Mixed and Augmented Reality Solutions am Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT in Sankt Augustin.

Prototypen direkt mit den künftigen Nutzern testen

Virtual-Reality-Fahrsimulatoren können zum Beispiel genutzt werden, um Prototypen direkt an Metaverse-Usern zu testen und ihr Feedback sofort im Design- und Fertigungsprozess zu berücksichtigen. So wurde am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML ein Simulator für DB Schenker entwickelt, um das Gabelstaplerfahren zu üben. »Die Deutsche Bahn nutzt Künstliche Intelligenz und Virtual Reality auch für die digitale Instandhaltung, sei es, um Schäden zu finden oder zu beheben«, sagt Oppermann. Mechanikerinnen und Mechaniker können erst einmal an digitalen Zügen lernen, wie man sie repariert. »Auch BASF experimentiert mit Metaverse-Technologien für virtuelle Labore, virtuelle Showrooms und weltweite 3D-Kollaborationen.«

Unter dem Namen »CyberLänd« hat das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und dem Virtual Dimension Center (VDC) in Baden-Württemberg ein umfassendes Metaverse-Projekt initiiert. Gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg werden die Potenziale des Metaverse für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft für das Ländle eruiert. Oberstes Ziel des Projektteams: Erst einmal Verständnis für das komplexe Thema schaffen. »Den Unternehmen fehlt es aktuell noch an konkreten Entwicklungsperspektiven im Metaverse«, sagt Prof. Katharina Hölzle, Leiterin des Fraunhofer IAO und des Instituts für Arbeitswissenschaft IAT der Universität Stuttgart. »Wir betrachten, wie eine interaktive Zusammenarbeit im Metaverse aussehen kann, wie Digitale Zwillinge umfassend eingesetzt werden können, wie man im Metaverse bezahlt und Weiterbildung on the Job anbietet.«

Im nächsten Schritt sollen dann Unternehmen in Baden-Württemberg identifiziert werden, die sich bereits ►

»Metaverse ist mehr als ein Hype. Sicher ist: Es wird kommen, wie und in welchem Ausmaß auch immer.«

Dietmar Laß,
Fraunhofer-Verbund IUK

»Wichtig ist, ein Innovations-
ökosystem aufzubauen.
Dafür müssen die Digital-
technologien mit indus-
trieller Basis in Deutschland
stärker verknüpft werden.«

Holger Graf, Fraunhofer IGD



mit Metaverse-Technologien beschäftigen, und auf einer Landkarte verzeichnet werden. »Im Rahmen einer empirischen Studie wollen wir ihre Erwartungen und Anforderungen herausfinden und für die breite Öffentlichkeit aufbereiten«, erklärt Katharina Hölzle. Ergebnis sollen Szenarien für das Jahr 2033 sein: Welche Rolle spielt das Metaverse zu diesem Zeitpunkt in Baden-Württemberg? Wie müssen Politik und Unternehmen handeln? Wie kann man die Gesellschaft einbinden? Ende dieses Jahres sollen alle Ergebnisse auf der Veranstaltung »Innovationsforum-Metaverse BW« vorgestellt werden.

Stehen wir an der Schwelle zur nächsten Entwicklungsstufe des Internets?

Außerhalb der Wirtschaft konzentriert sich das Interesse aktuell stark auf die generative Künstliche Intelligenz, doch in Zukunft werden sich Metaverse und die sogenannte starke KI (eine Künstliche Intelligenz, die wie ein Mensch eigenständig, flexibel und vorausschauend agieren kann) aller Voraussicht nach ergänzen. »Nur durch hochleistungsfähige Rechner, Fortschritte in den Bereichen selbstlernende Systeme, skalierbare 3D-Datenverarbeitung und Internetbandbreite wird das Metaverse sich durchsetzen«, sagt Holger Graf vom Fraunhofer IGD in Darmstadt. Der Mathematiker forscht zu Virtual und Augmented Reality in industriellen Anwendungen. Wegen der enormen Rechenleistung, die für eine gute Darstellung im Metaverse notwendig ist, wird es aber wohl einige Jahre dauern, bis Lösungen für ein industrielles Metaverse wirklich zufriedenstellend und intuitiv funktionieren. »Auch befindet sich der XR-Brillen-Markt derzeit in einem permanenten Umbruch«, sagt Graf. »Die Einheiten, die man auf dem Kopf trägt, sind im Moment für ein tägliches Arbeiten noch nicht praktikabel.« Erst leichtere Displays mit verbesserten Sichtfeldern, mit denen man auch Augmented-Reality-Anwendungen zufriedenstellend nutzen kann, würden große Fortschritte für die Anwendung im Arbeitsalltag bringen. Ideal wären auch AR-Kontaktlinsen, die man direkt im Auge trägt. »Allerdings ist das noch Zukunftsmusik«, fügt Graf hinzu.

Was dann kommen kann, fasziniert heute schon die Expertinnen und Experten an den verschiedenen Fraunhofer-Instituten und die Kooperationspartner in den Unternehmen: »Durch die Dreidimensionalität, das Erleben von Situationen mit allen Sinnen, wird es uns in Zukunft viel leichter fallen, Zusammenhänge zu verstehen und unser Wissen zu erweitern«, sagt Prof. Katharina Hölzle. Dr. Michael Bau, Institutsleiter der ILAG GbR, dem Institut Leistung Arbeit Gesundheit, welches eng mit dem Fraunhofer FIT im Industriepark Troisdorf zusammenarbeitet, sieht als entscheidend für das Gelingen von Tech-

nikimplementationen in Unternehmen die Beteiligung von Mitarbeitenden und Führungskräften an. Er schätzt im Rahmen der Evaluation im Projekt daher mit seinem Team die Wirkung und den Nutzen für die Beteiligten ein: »Geografische Entfernungen, körperliche Handicaps und sprachliche Grenzen können in naher Zukunft in den Hintergrund rücken«, prognostiziert er. »Dies ist unzweifelhaft ein Vorteil für alle Beteiligten.«

Metaverse-Experte Dietmar Laß fasst das Potenzial so zusammen: »Man kann das Metaverse durchaus als eine Revolution bezeichnen, weil es die Art und Weise, wie wir in Zukunft miteinander leben, kreieren, lernen, arbeiten, produzieren, verkaufen und konsumieren werden, grundlegend ändert.« Diese disruptive Kraft betont auch Prof. Vanessa Borkmann, Forscherin am Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: »Theoretisch kann jeder mitmachen, er muss lediglich über die passende Technologie und den Zugang verfügen. Das Metaverse wird so zu einer Erweiterung unseres Handlungsspielraumes und hat ein enormes Potenzial für die Arbeitswelt.«

Frida Santos, die Ingenieurin aus der Zukunft, begrüßt nun ihr Team, das im Besprechungsraum sitzt. Heute wollen sie gemeinsam die technische Weiterentwicklung eines Solarzellen-Prototyps besprechen. Wenn sich Frida Santos umdreht, kann sie ein digitales Board sehen, auf das der Kollege aus San Diego bereits einige technische Probleme, die es mit der Solarzelle gibt, gebeamt hat. Der Datentransfer erfolgt über ein 5G-Netz, das notwendig ist, um diese riesigen Datenmengen zu übertragen; auch Prozessor und Speicher müssen Höchstleistungen erbringen. Nachdem das Team Lösungen für die Fehlermeldungen beraten hat, geht Frida Santos in den nächsten Metaverse-Raum. Er ist der Produktionshalle ihres Arbeitgebers in Sydney nachempfunden. Die junge Ingenieurin tritt an eine der Maschinen und ändert einige Einstellungen. Ein Roboter vor Ort in Sydney führt ihre Handlungen sofort aus. Es ist, als wäre Frida Santos innerhalb weniger Sekunden einmal um die halbe Welt gereist.

Reale Objekte – heute schon im Metaverse-Einsatz

Einer, der heute schon die realen Objekte als Digitale Zwillinge für das Metaverse verwendet, ist Yücel Uzun vom Fraunhofer FIT. Er ist der technische Leiter und Hauptentwickler des Mixed-Reality-Anwendungsfalls im Projekt »5G Troisdorf IndustrieStadtspark« und hat dafür Apps zur Visualisierung und Anwendung von Digitalen Zwillingen programmiert. Sein Team arbeitet mit zwei Industriepartnern zusammen: Kuraray ist ein Chemieunternehmen, das zum Beispiel Industriepolymere und synthetische Mikrofasern herstellt. Es nutzt dafür ▶

Industriemaschinen von ZWi Technologies. Da sich Kuraray in vielen verschiedenen Ländern engagiert, wird es oft sehr kurzfristig mit technischen Problemen konfrontiert: Eine Maschine geht in Japan kaputt oder ein neuer Mitarbeiter muss dort geschult werden. Eigentlich müsste sich nun ein Experte oder eine Expertin auf den Weg machen – einen Flug buchen, alle anderen Termine für Tage absagen, einen Kindersitter bestellen. Das kostet viele Arbeitstage und viel Geld.

Yücel Uzuns Team hat jedoch eine Lösung entwickelt – ein System, mit dem eine Fachkraft in Sekunden vor Ort ist: Mit einer HoloLens 2 und einer VR-Brille – kann der deutsche Experte über das Metaverse mit dem Werksmitarbeiter in Japan kommunizieren, als wären sie im selben Raum. Auch gibt es einen Digitalen Zwilling der Maschine, die gewartet werden muss. »Beide können als Avatare auftreten, miteinander sprechen und an der virtuellen Maschine arbeiten«, sagt Yücel Uzun. »Der Experte aus Deutschland kann zudem ganz einfach Anleitungen und wichtige Anmerkungen im virtuellen Raum rüberschicken, um dem Werksmitarbeiter zu helfen.«

Yücel Uzun testet zum Beispiel das virtuelle 3D-Modell eines Granulators – die Maschine sammelt überschüssige Folie auf und granuliert sie zu Staub. »Das hört sich einfach an, ist es aber nicht. Wir wissen nun, dass Mitarbeiter im Metaverse an der Maschine trainieren oder diese direkt reparieren können, wenn sie kaputt ist.« Von einem Werksmitarbeiter in der Fabrik werden die Anpassungen dann ausgeführt.

»Wir müssen eine Haltung entwickeln, wie man Missbrauch ausschließt.«

Vordenker des Metaverse hoffen, dass das Internet der Zukunft dezentral laufen wird – also von niemandem, keinem Staat, keinem Unternehmen, kontrolliert wird. Dadurch könnten die verschiedenen Plattformen miteinander verbunden und Elemente von einer Umgebung in die nächste mitgenommen werden. Doch diese Liberalität birgt auch viele Risiken. »Zentrale Kritikpunkte betreffen juristische Unsicherheiten im internationalen Kontext, den Umgang mit Nutzerdaten und geistigem Eigentum, die Gefahr krimineller Aktivitäten, den hohen Ressourceneinsatz und die Verstärkung von Tendenzen des Web 2.0.«, sagt Dr. Leif Oppermann, Experte für Mixed and Augmented Reality Solutions am Fraunhofer FIT. »Wenn Digitale Zwillinge von Fabriken oder Maschinen im Metaverse nach Bauart der herkömmlichen Internet-Geschäftsmodelle verwendet werden, sind die Unsicherheiten für Unternehmen zu groß.« Er rät dazu, sich mit der Technik auseinanderzusetzen, um die Vorteile zu der

»Das Metaverse wird zu einer Erweiterung unseres Handlungsspielraums – und hat enormes Potenzial für die Arbeitswelt.«

Prof. Vanessa Borkmann,
Fraunhofer IAO



räumlichen Interaktion zu nutzen und die Probleme zu minimieren. Dabei sei ein gemeinschaftliches Vorgehen unumgänglich. »Dann aber sind auch gute und mehrwertige Lösungen für den deutschen Mittelstand möglich, die zum Beispiel eine verbesserte Fernwartung am Digitalen Zwilling einer Maschine ermöglichen, ohne dass die Daten in Gefahr sind«, so Oppermann. »In dieser frühen Phase des Metaverse müssen wir eine Haltung entwickeln, wie man Missbrauch ausschließt und wie man eine Ethik implementiert, um die schlechten Seiten des Web 2.0 nicht noch zu potenzieren«, bestätigt Prof. Katharina Hölzle. Nur auf diesem Fundament kann ein Metaverse entstehen, das unser Leben bereichert – und es nicht noch mehr verkompliziert.

Wenn diese Rahmenbedingungen geschaffen sind, birgt das Metaverse ein enormes Potenzial für Handel, Immobilienmarkt, Tourismus, Bildungsbereich und den öffentlichen Sektor. Im Forschungsbereich Stadt-systemgestaltung am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation werden bestehende oder potenzielle Stadtumgebungen in die virtuelle Welt ►

Woher das Metaverse kommt

Der Begriff Metaversum (englisch Metaverse) setzt sich aus der Vorsilbe meta- (für »jenseits«) und Universum zusammen. Er wurde erstmals im Jahr 1992 im Science-Fiction-Roman »Snow Crash« des Schriftstellers Neal Stephenson erwähnt. Darin wechselt die Hauptperson immer wieder aus ihrem echten Leben in Los Angeles in eine virtuelle Welt, die als breite Straße dargestellt ist und einen schwarzen Planeten umspannt. Im Metaverse streben die Avatare nach immer mehr Wissen, Macht und Geld. Stephenson zeichnet damit eine Dystopie, eine beängstigende Realität mit einer nicht wünschenswerten Gesellschaftsordnung. In William Gibsons Roman »Neuromancer« heißt der virtuelle Ort hingegen »Cyberspace«. Und auch in einer Reihe von Filmen, unter anderem »Ready Player One« von 2018, taucht die Idee dieser digitalen Zukunft auf.

In den 1990er-Jahren begannen Technikfans und Unternehmen eine digitale Welt zu entwickeln, wie sie Neal Stephenson in seinem Buch gezeichnet hat. Einen Vorgeschmack gaben Spiele-Plattformen wie Roblox oder Second Life, auch im Computerspiele Fortnite kann man in ein Metaverse eintauchen und hier Konzerte oder Filmpremierer erleben. Nach einiger Zeit sprangen dann Tech-Giganten auf den Zug auf: Microsoft entwickelt derzeit eine virtuelle Meeting-Atmosphäre, in der Avatare einander treffen. Bis Ende des Jahres soll Microsoft Teams um die Möglichkeit ergänzt werden, Virtual-Reality- und Augmented-Reality-Brillen zu nutzen. Auch das Unternehmen Nvidia, Hersteller des schnellsten Grafikprozessors der Welt, entwickelt ein Omniverse, mit dem man Metaverse-Anwendungen herstellen kann. Doch spätestens seit Mark Zuckerberg den Facebook-Konzern in Meta umbenannt hat, ist der Begriff im Mainstream angekommen. Zuckerberg bezeichnet das Metaverse als »die neue Generation des Internets« – im Jahr 2030 soll der Umsatz bereits 800 Milliarden US-Dollar betragen, errechnete der Finanzdienst Bloomberg Intelligence.



übertragen. Dabei dient das Metaverse als Plattform für die schnelle Prototypisierung von Stadtplanung und -entwicklung. »Mit diesen Digitalen Zwillingen können wir Zukunftsszenarien simulieren und für Investoren oder Nutzer greifbar machen«, sagt Ronja Gaulinger, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IAO im Forschungsbereich Stadtssystemgestaltung. Es können nicht nur eine komplette Stadt, sondern auch einzelne Gebäude in der virtuellen Welt gebaut werden, an denen Forscherinnen und Forscher verschiedene Ausstattungen durchspielen und nach Problemen suchen. »Investoren können so erst einmal virtuell in ein Gebäude hineingehen, bevor es gebaut wird«, sagt Gaulinger.

Auch im Rahmen des Innovationsnetzwerks »Future-Hotel« des Fraunhofer IAO wird das Metaverse genutzt, um die Frage zu beantworten, wie das Hotel der Zukunft aussehen könnte (siehe auch S. 56). Aber auch Urlauber können beispielsweise Hotels oder Reiseziele erst einmal im Metaverse besuchen, um dann den perfekten Urlaub im echten Leben zu buchen.

»Das Metaverse stellt einen Wendepunkt für Unternehmen dar.«

Inwieweit diese neue Technologie, die ähnlich revolutionär wie die Einführung des Smartphones sein könnte, tatsächlich unseren individuellen Alltag verändert, ist noch schwer abzuschätzen. »Werden wir noch weniger Zeit an der frischen Luft und mit echten Menschen verbringen? Oder schenkt uns die Technik gerade diesen Freiraum?«, fragt Katharina Hölzle. »Vielleicht entwickelt

sich hier auch eine Gegenbewegung, die abseits des Digitalen das Echte und Berührbare sucht und abseits des Metaverse die realen Kontakte wieder mehr verfestigt.«

Sicher ist: Das Metaverse wird die Industrie in Deutschland grundlegend verändern. Vor allem für den Innovationsprozess von Unternehmen hat es enorme Vorteile. In der Ideenphase könnten Kunden und Lieferanten aus der ganzen Welt, die über die erforderliche Ausrüstung verfügen, schnell und einfach über das Metaverse eingebunden werden, sodass Produkt- und Serviceideen noch stärker auf die jeweiligen Bedürfnisse zugeschnitten werden können. Bewertung und Auswahl von Alternativen werden beschleunigt, denn bereits im Planungsprozess können die Produkte wie ein Auto oder eine Waschmaschine virtuell simuliert und getestet werden. Die Erkenntnisse, die die Unternehmen daraus gewinnen, können dazu genutzt werden, die Produkte unkompliziert zu verbessern. In kurzer Zeit sind die neuen Produktionsdaten dann in die Fabriken gesendet, die überall auf der Welt stehen.

So berechnet eine Studie des Wirtschaftsprüfers McKinsey, dass das Metaverse bis zum Jahr 2030 einen Wert von bis zu fünf Milliarden Dollar erreichen kann. 95 Prozent der befragten Führungskräfte erwarten, dass das Metaverse innerhalb von fünf bis zehn Jahren einen positiven Einfluss auf ihre Branche haben wird. 31 Prozent glauben, dass es die Arbeitsweise ihrer Branche grundlegend verändern wird. »Das Metaverse stellt einen Wendepunkt in der Strategie für Unternehmen dar«, sagt Metaverse-Experte Dietmar Laß. Für ihn ist klar: Es ist einfach zu groß, um es zu ignorieren. ■

Der Weg zum Zwillingpaar
Der Digitale Zwilling wird immer mehr Vorzüge für die Industrie generieren. Um das Thema »Zwilling« für die Fotografie zu inszenieren, stellten sich Fotografin Maya Claussen und ihr Assistent Jacek Wesolowski an die Seite der Fraunhofer-Forscherinnen, damit die Interaktivität mit dem Avatar möglichst natürlich festgehalten werden konnte.



»Wir wissen, dass Mitarbeiter im Metaverse an der Maschine trainieren oder diese direkt reparieren können.«

Yücel Uzun, Fraunhofer FIT



Interview

»Was mir fehlt,
ist Zukunfts-
optimismus!«

Als CDU-Vorsitzender und
Oppositionsführer plädiert
Friedrich Merz für mehr
Technologie-Offenheit. Als
Hobby-Pilot bleibt er skeptisch,
ob er jemals mit Wasserstoff
fliegen wird.

Interview: Josef Oskar Seitz

Friedrich Merz, 67,
vor seinem Büro als
Fraktionsvorsitzender
der Union im Jakob-
Kaiser-Haus des
Bundestags in Berlin.

_____ **Herr Merz, ist Deutschland wehleidig geworden?**

Wir neigen jedenfalls eher zum Pessimismus als zum Optimismus. Hierzulande ist das Glas meistens halb leer. In Amerika dagegen ist das Glas immer halb voll, mindestens!

_____ **»Krise ist zum Lieblingswort der Zeit geworden.« Wissen Sie, von wem dieses Zitat stammt? Es ist von Norbert Blüm. Und es stammt aus dem Jahr 1985. Es scheint nicht nur heute so zu sein, dass gerne von Krisen gesprochen wird.**

Und seitdem sind die Lösungsvorschläge fast immer dieselben. Entsteht irgendwo ein Problem, dann muss es mit mehr Geld gelöst werden. Gibt es irgendwo ein administratives Problem, dann wird erst einmal mehr Personal eingestellt. Immer mehr Personal in der Staatsverwaltung, immer mehr Geld aus den Staatshaushalten – das kann so nicht ewig weitergehen.

_____ **Herr Merz, Sie hatten sich ja zwölf Jahre aus der Politik verabschiedet und waren Aufsichtsratsvorsitzender für den weltgrößten Vermögensverwalter Blackrock. Frage deshalb an den Mann aus der Wirtschaft: Wann ist ausgegebenes Geld sinnvoll investiertes Geld?**

Staatliches Geld ist dann gut investiert, wenn es den Sozialstaatsauftrag des Grundgesetzes erfüllt, wenn es die Freiheit der Menschen nach innen und außen sichert und wenn es im Übrigen in die Infrastruktur des Landes fließt. Maßstab dafür sollte die Mehrung des Volksvermögens sein. Vor allem muss es der jungen Generation zugutekommen.

_____ **Sie sind, heute fast ja schon unanständig, seit 41 Jahren verheiratet – und das auch noch mit derselben Frau. Sie haben drei Kinder, sechs Enkel. Wie wird deren Zukunft in Deutschland aussehen?**

Individuell haben die sechs noch keine Entscheidung getroffen, dafür sind sie einfach noch zu jung. Aber für diese Generation wird sich dringlicher denn je die Frage stellen, welche Zukunft unser Land ihnen bieten kann. Schon jetzt verlassen ja jedes Jahr geschätzt rund 180 000 deutsche Staatsbürgerinnen und -bürger unser Land, oft gut ausgebildete junge Menschen, und nur rund zwei Drittel kehren irgendwann wieder zurück, wenn die Zahlen richtig sind. Wir sprechen viel über Einwanderung. Aber vielleicht sollten wir uns auch um diejenigen kümmern, die auswandern wollen, weil sie anderswo bessere Zukunftschancen sehen.

_____ **Halten Sie die Abwanderung aus Deutschland für ein echtes Problem?**

»Die Innovationskraft in unserem Land ist teilweise atemberaubend gut.«

Friedrich Merz

Wenn ich es richtig sehe, ist das Phänomen bisher nicht gut genug untersucht, auch über die Motive wissen wir zu wenig. Und der Wanderungssaldo ist seit vielen Jahren positiv, die Bevölkerung in Deutschland wächst. Ende 2021 sind wir ja völlig überrascht worden, dass in Deutschland 84,2 Millionen Menschen wohnen, wir waren immer von 81 oder 82 Millionen Einwohnern ausgegangen. Auch wissen wir bis heute nicht, wer aus dem europäischen Ausland auf Zeit oder auf Dauer bei uns lebt und arbeitet. Das können wir allenfalls durch schwierige Abfragen über Krankenkassendaten in Erfahrung bringen – und selbst da sind die Zahlen nicht zuverlässig genug. Wir bewegen uns im Meldewesen ja immer noch in einem weitgehend analogen Zeitalter. Ich würde gerne auf einer soliden Datengrundlage arbeiten. Unsere Infrastruktur muss ja auch zielgenau ausgerichtet sein: Kitas, Schulen, Krankenhäuser, Wohnungen.

_____ **Infrastrukturmaßnahmen im Blindflug: Wie sehen Sie das Deutschland, in dem Ihre Enkel aufwachsen werden?**

Eines ist durch den Ukraine-Krieg jedenfalls unübersehbar geworden – es ist keine Selbstverständlichkeit mehr, dass sie in einem freien, demokratischen und friedfertigen Europa leben können. Das aber wäre das Allerwichtigste.

_____ **Christlich?**

Jedenfalls kulturell geprägt von christlich-abendländischen Traditionen.

_____ **Ein Einwanderungsland?**

So wie wir es schon sind seit langer Zeit, aber dann hoffentlich mit einer Einwanderung, die deutlich besser gesteuert ist.

_____ **Wie kommt Deutschland zu mehr Fachkräften?**

Neben der Hebung von Fachkräftepotenzial im Inland wird es von großer Bedeutung sein, Talente aus dem Ausland für Deutschland zu gewinnen. Für die Einwanderung von Fachkräften schlagen wir eine neue Bundesagentur für Einwanderung vor – auch genannt: »Work-and-Stay«-Agentur. ▶



1989: Wahlkampf mit Seitenscheitel

Bis 1994 gehört Friedrich Merz dem Europäischen Parlament an. Schon als Gymnasiast war er in die CDU eingetreten.



2016: Party-Foto in Berlin

CDU-Vize Julia Klöckner und Bayerns Wirtschaftsministerin Ilse Aigner begeistern sich für Merz. Im Hintergrund: Thomas Gottschalk, Carsten Maschmeyer, Dorothee Bär.



2021: Vier Jahrzehnte verbunden

Schon als Jura-Studenten haben Friedrich und Charlotte Merz einander kennengelernt. Sie sind seit 41 Jahren verheiratet.



2021: Der Mann im Hintergrund

Als CDU-Vorsitzenden muss Merz den späteren Kanzlerkandidaten Armin Laschet an sich vorbeiziehen lassen.

Fachkräfte erhalten so den gesamten Service aus einer Hand: von der Arbeitsplatzvermittlung, der Prüfung der Voraussetzungen für die Einreise über das nötige Visum bis hin zum Aufenthaltstitel nach Ankunft in Deutschland. Die Bundesagentur für Einwanderung übernimmt alle Verfahren der Einwanderung, die zurzeit bei den deutschen Auslandsvertretungen und bei den Ausländerbehörden der Landkreise und Kommunen geführt werden und die keine Asylverfahren sind. Diese Einwanderungsagentur arbeitet von Beginn an ausschließlich auf der Basis digitaler Verfahren und wird mit modernster Technik ausgestattet. Sie ist auch Arbeitsvermittlungsentität für alle Arbeitskräfte aus dem europäischen und nicht-europäischen Ausland.

Wie werden Ihre Enkel arbeiten?

Vermutlich noch sehr viel digitaler und mobiler. Auch noch vielfältiger. Sie werden – anders, als ihre Eltern und Großeltern – nicht den einen Beruf ergreifen, behalten und bis zum Ruhestand ausüben.

Macht Ihnen die Zukunft Sorge?

Ich glaube, dass in unserem Land immer noch genug Dynamik und Kraft steckt, um viele Dinge wirklich gut zu lösen. Was mir fehlt, ist dieser Zukunftsoptimismus auch in der politischen Führung unseres Landes. Deutschland versteckt sich zu viel. Ich merke das auf jeder Auslandsreise. Wenn ich zurückkomme, egal aus welchem Land, dann bringe ich immer den Eindruck von meinen Gesprächspartnern mit, dass von uns mehr erwartet wird, als wir liefern. Und dass wir umgekehrt meinen, weniger liefern zu müssen, als da draußen wirklich erwartet wird. Wir machen uns kleiner, als wir im Blick von außen tatsächlich sind.

In Ihrer Wahrnehmung verzweigen wir uns fahrlässig?

Ja, ein Stück weit sicherlich.

Wie nehmen Sie die Innovationskraft in unserem Land wahr?

Teilweise atemberaubend gut. Wir haben KI-Institute in Deutschland, wir haben tolle Entwicklungen im Bereich modernster Technologien, wir sind ein Land, das im Bereich der Wasserstofftechnologien vieles kann, auch im Bereich der regenerativen Technologien. Wir sind ein Land, das Biotechnologie kann – siehe Biontech, siehe CureVac. Und bleiben wir bei

dem Beispiel: Kaum sind diese beiden Unternehmen groß genug, um richtig zu produzieren, brauchen sie Kapital – und wo gehen sie hin: nach New York an die Börse. Das ist für sich genommen schon nicht schön. Was ich wirklich problematisch finde, ist noch etwas anderes: dass es in diesem Land offenbar kaum jemand bemerkt. Darüber wird ja praktisch gar nicht diskutiert. Oder schauen Sie aufs andere Ende der Skala: Da geht ein Unternehmen Linde aus dem deutschen Aktienindex heraus, weil es zu groß wird, und so ein Thema findet auf den hintersten Seiten der Wirtschaftszeitungen statt.

Was kann, was soll die Forschung für eine erstrebenswerte Zukunft beitragen?

Es braucht eine Beschleunigung von Planungsverfahren nicht nur bei Windrädern, sondern auch für den Ausbau der digitalen Infrastruktur. Wir müssen uns doch die Frage stellen: Wo wollen wir in zehn Jahren stark sein? Pharma, Biotechnologie, Maschinenbau, Umwelttechnologien oder Künstliche Intelligenz, die Verknüpfung von Digitalisierung und Dekarbonisierung – überall liegen Möglichkeiten für neue Wertschöpfung am Wirtschaftsstandort Deutschland. Soziale Marktwirtschaft und der Wettbewerb bringen die besten Innovationen hervor. Nur so können wir unseren Wohlstand erhalten. Neben der notwendigen Infrastruktur müssen aber zum Beispiel auch bereits von der Vorgängerregierung aufgesetzte Prozesse wie der Onlinezugang zu Behördendienstleistungen und der Umgang mit Daten vorangebracht werden.«

Stichwort Innovationskraft: Wann werden Sie als begeisterter Pilot mit Wasserstoff liegen?

Schwer zu sagen. Wahrscheinlich, so zumindest meine Einschätzung, eher mit synthetischen Kraftstoffen. Wasserstoff ist für den Flugbetrieb noch sehr problematisch, Sie müssen mit hohen Minusgraden und extrem hohem Druck tanken.

Haben Sie den Eindruck, dass Forschung in Deutschland breit genug aufgestellt ist?

Mir fehlt, auch in unserer gesellschaftspolitischen Debatte, die Bereitschaft zum 360-Grad-Blick. Wir schließen zu viele Dinge zu früh aus. Und wir steigen aus, bevor wir wissen, wo wir stattdessen einsteigen. Wir sind aus der Kernenergie ausgestiegen – und das vor zwölf Jahren –, und wir wissen bis heute nicht, wo wir einsteigen wollen. Wir steigen jetzt aus dem



Friedrich Merz beim Interview im Büro des Fraktionsvorsitzenden.

Verbrennermotor aus. Und wir wissen nicht, was an seine Stelle kommt: Elektromobilität kann eine Antwort sein. Oder Wasserstoff. Oder synthetische Kraftstoffe. Oder vielleicht wird alles parallel miteinander die Zukunft der Mobilität sein. Mir gefällt dieser Mindset nicht, dass wir erst einmal sehr stark ideologisch diskutieren. Damit setzen wir uns fahrlässig die Scheuklappen auf. Und schließen damit technologische Entwicklungen aus, die wir noch gar nicht kennen. Das ist, wie es der Ökonom Friedrich August von Hayek genannt hat: angemessenes Wissen. Eine sehr schöne Formulierung. Würden wir heute noch einmal aus der Kernenergie aussteigen? Ziemlich sicher nicht. War es richtig, den Dual-Fluid-Reaktor in Deutschland zu ignorieren und zuzulassen, dass er von kanadischen Investoren gekauft wird? Wahrscheinlich auch nicht.

Ein flammendes Plädoyer für Technologie-Offenheit, Herr Merz?

Ja, das ist der richtige Begriff. Aber wir müssen das Schlagwort auch mit Inhalt füllen und dürfen uns nicht am Einzelfall festbeißen. Die Politik muss diesem Land einen Impuls geben, der getragen ist von Selbstbewusstsein und Offenheit. Die Deutschen haben ein ausgeprägtes Sicherheitsgefühl. Wir müssen aber bereit sein, auch einmal ins Ungewisse zu gehen. Dazu braucht es Vertrauen in die politische Führung.

Wer wird der nächste Kanzler, Herr Merz?

»Technologie-Offenheit ist der richtige Begriff. Aber wir müssen das Schlagwort auch mit Inhalt füllen. Wir müssen bereit sein, auch einmal ins Ungewisse zu gehen.«

Friedrich Merz

Wir haben erst einmal einen. Und mit dem setzen wir uns auseinander.

Sie gehören zu den üblichen Verdächtigen als Kandidat für die Nachfolge.

Das ehrt mich.

Von den zehn Vorsitzenden der CDU ist mehr als die Hälfte auch Kanzler geworden.

Damit lässt sich leben.

Wie aber ist Ihre Partei aufgestellt? Sie selbst haben die CDU ja 2022 als »schweren politischen Sanierungsfall« bezeichnet.

Wir befinden uns in der Phase zwei von drei. Phase eins war Konsolidierung in der Opposition. Wir haben diese Rolle nach dem schlechten Wahlergebnis von 2021 gut angenommen. Wenn wir aber nicht nur die Opposition von heute, sondern die Regierung von morgen sein wollen, dann müssen wir heraus aus dem Modus, nur Opposition zu sein. Wir müssen den Hebel umlegen und deutlich machen, was wir denn besser machen wollen. Das ist eine Aufgabe, die die Partei und die Bundestagsfraktion leisten müssen. Deshalb kümmere ich mich nach den vier Landtagswahlen des vergangenen Jahres auch sehr viel intensiver um die Partei. Und da sind wir mitten in einem Erneuerungsprozess.

Für Sie die Phase zwei.

Die wir nächstes Jahr im Mai abschließen. Und damit rechtzeitig vor der Europawahl 2024 und der Bundestagswahl 2025. ■



2021: Auf Tour mit dem Enkel

Mit dem ältesten seiner sechs Enkel ist er von der Ruhrquelle in Winterberg nach Arnsberg geradelt. Kommentar: »Das Sauerland ist einfach wunderbar.«



2022: Endlich an der Partei-Spitze

Im dritten Anlauf nach 2018 und 2020 erringt Merz die absolute Mehrheit und wird am 31. Januar offiziell CDU-Vorsitzender.



2022: Per Nachtzug nach Kiew

Im Mai trifft Merz Bürgermeister Vitali Klitschko. Eine Begegnung (fast) auf Augenhöhe: 1,97 zu 2,01 Meter.



2022: Angstfrei nach Sylt

Im Juli steuert Merz mit Ehefrau Charlotte sein Privatflugzeug zur Hochzeit von Finanzminister Christian Lindner. »Mittlerweile«, sagt er, »fliegt meine Frau völlig angstfrei mit.«

»Sehr viele Leben retten«

Ein Forschungsteam hat ein neues Antibiotikum gefunden, dessen besondere Wirkweise auch multiresistente Keime attackiert. Vor allem Patientinnen und Patienten mit Lungenerkrankungen könnte so viel besser geholfen werden.

Von Mehmet Toprak

Fast fünf Millionen Menschen weltweit starben 2019, weil ihnen Antibiotika nicht mehr gegen Infektionskrankheiten helfen konnten. Auf zehn Millionen Todesopfer könnte die Zahl bis 2050 durch die Ausbreitung multiresistenter Keime steigen. So geht es aus der Studie eines internationalen Teams von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hervor, die 2022 im Medizinjournal »The Lancet« publiziert wurde. Das als AMR (Antimicrobial Resistance) bekannte Phänomen der Resistenz von Keimen und Krankheitserregern gegenüber Antibiotika stellt mittlerweile eine der größten Gefahren für die öffentliche Gesundheit dar. Fachleute sprechen von einer schleichenden Pandemie.

Im Kampf gegen multiresistente Keime gibt es nun einen neuen Hoffnungsträger. Einem Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist es gelungen, einen Naturstoff zu identifizieren, der in der Lage ist, sogenannte gramnegative Krankheitserreger wirksam zu attackieren. Darobactin, so sein Name, könnte als Antibiotikum gegen die gefürchteten gramnegativen Keime *Pseudomonas aeruginosa* eingesetzt werden. Sie gehören zu den gefährlichsten Keimen in Krankenhäusern. Hier sind sie die Hauptursache für Lun-

genentzündungen, aber auch für Wundinfektionen oder Herzerkrankungen. Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat *Pseudomonas aeruginosa* ganz oben auf ihre »Top Priority List« der Bakterien gesetzt, gegen die dringend neue Antibiotika entwickelt werden müssen.

Ein führendes Mitglied des Forschungsteams, dem die Entdeckung des antibiotisch wirksamen Darobactin gelang, ist Prof. Till Friedrich Schäberle. Er leitet die Abteilung Naturstoffforschung am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen und hat eine Professur an der Justus-Liebig-Universität (JLU) inne. In der aktuellen Studie haben die Forschenden aus Gießen mit der Pädiatrischen Infektiologie des Klinikums der Universität München (LMU) zusammengearbeitet. Schäberle und sein Team waren bereits 2019 an einem internationalen Verbund von Forschenden beteiligt, der die Wirksamkeit von Darobactin gegen gramnegative Bakterien entdeckt hatte. Seitdem haben sie die Wirksamkeit in Labortests kontinuierlich weiter optimiert.

Attacke, bis sich das Bakterium auflöst

Darobactin ist ein kleines Peptid, eine Verbindung von nur sieben Aminosäu-

ren, deren Moleküle aber so miteinander verknüpft sind, dass es sehr stabil ist. Das Besondere an Darobactin ist sein Wirkmechanismus. Gramnegative Keime haben als Schutz eine zusätzliche Hülle, bestehend aus einer Proteinstruktur. Herkömmliche Antibiotika können gegen diese Pathogene nichts ausrichten, wenn sie einmal resistent geworden sind. Die Vorteile der Darobactine erklärt Schäberle: »Sie attackieren eine Zielstruktur, die von marktüblichen Antibiotika nicht genutzt wird und direkt in der schützenden Hülle liegt. Hier hemmen sie ein essentielles Protein, was dazu führt, dass das Bakterium nicht mehr lebensfähig ist und sich auflöst.«

Hinter dieser nüchternen Erklärung des Wissenschaftlers verbirgt sich viel. »Es gibt seit 60 Jahren keine wirklich innovativen Antibiotika mehr gegen gramnegative Erreger«, freut sich Schäberle. »Deshalb ist Darobactin ein Durchbruch.«

Entdeckt wurde der Kandidat für ein neues Antibiotikum mit klassischen Aktivitätstests. Dabei werden durch Fermentation gewonnene Bakterienextrakte auf pathogene Keime angesetzt. Dann prüfen die Forscherinnen und Forscher, ob die pathogenen Keime im Wachstum gehemmt werden. Haben sie einen Treffer, beginnen sie die aktive Substanz und ihre Wirkweise



zu analysieren. Das war auch bei Darobactin so. Die für die Tests notwendigen multiresistenten Keime wurden vom LMU Klinikum in München zur Verfügung gestellt. Sie stammen von Patientinnen und Patienten.

Das eigentliche Darobactin wird aus der Bakterienbrühe mithilfe von chromatographischen Verfahren schrittweise isoliert und gereinigt. Die Forschenden in Gießen haben eine biotechnologische Plattform entwickelt, um die Darobactine herzustellen und deren Wirksamkeit durch Austausch oder Veränderung der Aminosäuren weiter verbessern zu können. Das Forschungsteam vom Fraunhofer IME, der Uni Gießen und der LMU in München kann

bereits wichtige Fortschritte vermelden. Die In-vitro-Tests sind abgeschlossen. Nun beginnt die In-vivo-Phase. Damit wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ausschließen, dass unkontrollierte Nebenwirkungen auftreten oder die Substanz toxisch wirkt.

Endlich Hilfe gegen multiresistente Keime

Das Zukunftsversprechen formuliert Fraunhofer-Forscher Schäberle deutlich: »Für uns geht es jetzt darum, endlich ein neues Antibiotikum zu realisieren, das gegen die multiresistenten Keime hilft. Das wird sehr viele Leben retten.« ■



Fast
5 Mio.
Menschen
weltweit
starben 2019
wegen multi-
resistenter Keime.

Prof. Till Friedrich Schäberle mit dem gramnegativen Keim *Pseudomonas aeruginosa*.



Elektronik – wie gedruckt

Ein Paket schlägt selbstständig Alarm, wenn es zu Boden gefallen ist:
Wie das gute alte Papier den Halbleitermarkt revolutionieren kann.

Von Stefanie Smuda



Das Sensorlayout wird mit verschiedenen Drucktinten für Leiterbahnen und Sensoren aufgebaut – eine der Herausforderungen ist die präzise Ausrichtung.

Erfunden: vor etwa 2000 Jahren. Heute: mehr als 3000 Sorten – vom Affichenpapier für Plakate über Küchenkrepp bis hin zum zarten Zigarettenpapier, das durch eine Spezialfüllung und Imprägnierung glimmfähig ist. Morgen? Da wird Papier, der Inbegriff des Analogen, smart. An der Digitalisierung arbeitet das Fraunhofer-Institut für Siliciumforschung ISC mit – und es hat Erfolg.

Für zwei Anwendungsszenarien haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler smartes Papier entwickelt: Einen Schockerkennungssensor, der in Verpackungen integriert wird und per Handy-App informiert, wenn beispielsweise ein Paket zu Boden gefallen ist. Und ein fälschungssicheres Etikett, das Hersteller und Verbraucher vor Betrug schützen kann, auch das auslesbar übers Handy. Seit rund fünf Jahren erforscht Gerhard Domann, Leiter des Center Smart Materials and Adaptive Systems am Fraunhofer ISC, mit seinem Team, wie man Elektronik auf Papier drucken kann, ohne dessen Recyclingfähigkeit zu mindern.

»Wir wollten herausfinden, welche Funktion wir mit Materialien erfüllen können, die sowohl umweltfreundlich als auch gut für additive Prozesse sind«, erläutert Domann die Ziele des Projekts SUPERSMART, das 2018 startete. Das gute alte Papier ist aus mehreren Gründen ein sehr aktuelles Material: aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt, stabil und haltbar, recycelbar und sogar biologisch abbaubar, wenn es nicht zu stark mit Zusatzstoffen bearbeitet wird. Zudem eignet es sich für hochskalierbare Produktionsverfahren, wie etwa den Rolle-zu-Rolle-Druck.

»Entstanden ist ein hochskalierbares technologisches Verfahren, mit dem wir Etiketten und Sensoren von Rolle zu Rolle drucken können und dadurch auch eine Massenfertigung ermöglichen«, zeigt sich Domann zufrieden. Sensoren lassen sich inzwischen meterweise anfertigen, wodurch die Herstellungskosten deutlich sinken können. Ein Basismaterial dafür sind piezoelektrische Drucktinten, die allerdings eine spezielle Behandlung benötigen: »Elektrische Dipole in piezoelektrischen Materialien müssen zunächst ausgerichtet werden. Tausende von Sensoren manuell zu polen, ist jedoch nicht umsetzbar«, erklärt Domann. Dafür wurde eine automatisierte Polungsanlage von Projektpartnerinstituten entwickelt, mit deren Hilfe gedruckte Piezosensoren effizient aktiviert werden können. Nicht alles lässt sich bislang jedoch per Druckverfahren regeln: Konventionelle mikroelektronische Bauteile wie Batterien oder Chips für die Kommunikation werden daher auf herkömmlichem Weg im Bestückungsautomat mit Pick-and-Place-Technologien auf den Papiersubstraten aufgebracht.

Mit dem Projekt SUPERSMART haben die Forscherinnen und Forscher unter Beweis gestellt, dass ein breiter Einsatz der Technologie immer näher rückt. Papierbasierte Sensoren eignen sich für zahlreiche Anwendungsfälle. »Gerade in der Etiketten- und Verpackungsindustrie wird derzeit damit experimentiert, einfache intelligente Funktionen auf umweltfreundlichere Substrate als die üblichen faserverstärkten, nicht recyclingfähigen Kunststoffe aufzubringen. Wir bemerken hier einen zunehmenden technischen Reifegrad«, sagt Domann. Neben Fälschungsschutz und Qualitätssicherung sind aber auch weitere Einsatzgebiete denkbar, zum Beispiel im Medizinbereich oder bei Consumer Electronics.

Doch in SUPERSMART steckt noch mehr Potenzial – zum Beispiel im Zusammenspiel mit dem Internet of Things. Dieses benötigt kostengünstige und umweltfreundliche Technologien, um (sensorische) Daten zu generieren und zur Verfügung zu stellen. Die Demonstratoren aus dem SUPERSMART-Projekt erfüllen diese Anforderungen. Mit seinem Forschungsansatz konnte das internationale Projektteam auch die Jury beim Wettbewerb der Organic and Printed Electronics Association (OE-A) 2021 überzeugen und erzielte in der Kategorie »Bester öffentlich geförderter Demonstrator« den ersten Platz.

In einem begleitenden Life Cycle Assessment (LCA) wurde darüber hinaus untersucht, wie ressourcenschonend gedruckte Elektronik auf Papier ist und wo Verbesserungspotenziale stecken. Im direkten Vergleich geht Papier als deutlicher Sieger gegenüber PET-Substraten hervor: In fast allen der im LCA untersuchten 18 Kategorien – darunter Erderwärmung, Wasserverbrauch oder Nitratbelastung, Ozonabbau in der Stratosphäre oder Ökotoxizität – würde die Verwendung eines Papiersubstrats nur zehn bis 20 Prozent der Auswirkungen von PET verursachen.

Diese positiven Eigenschaften von Papiersubstraten wollen Domann und sein Team noch weiter nutzbar machen. Sie untersuchen die Recyclingfähigkeit bei komplexerem Aufbau. Während bei SUPERSMART eine einfache elektronische Schaltung auf das Papiersubstrat gedruckt wurde, haben konventionelle Leiterplatten mehrere Lagen, um die Integrationsdichte der elektronischen Bauteile zu erhöhen. Im Nachfolgeprojekt CircEL-Paper – von der EU gefördert – forscht das Fraunhofer ISC nun erneut mit europäischen Partnern aus Industrie und Wissenschaft, wie sich die Komplexität von Schaltungen auf Basis von mehrlagigen Papiersubstraten erhöhen und gleichzeitig das Recycling der Funktionsmaterialien effizient verwirklichen lässt. ■



Bienengift gegen Krebs?

Der Frühling ist da und mit ihm die Bienen. Forscherinnen und Forscher haben sich auf die Suche nach einer Art gemacht, deren Gift vor allem auf Krebszellen wirkt.

Von Kerstin Beckert

Die Tage sind wieder länger, die Temperaturen steigen, die Natur erwacht zu neuem Leben. Wer genau hinschaut, kann nun eine Vielzahl von Tieren entdecken.

Tim Lüddecke vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME in Gießen schaut auch bei kleinen Tieren genau hin. »Gerade sie haben oft sehr filigrane Methoden entwickelt, um sogar Feinde abzuwehren, die um ein Vielfaches größer sind.« Hochwirksame Gifte gehören dazu. Und die können nicht nur zur Abwehr nützlich sein.

Der Biochemiker und promovierte Biologe Lüddecke leitet am Fraunhofer IME die Arbeitsgruppe »Animal Venomics«. Giftige Tiere sind seine Leidenschaft. Dabei interessiert er sich nicht so sehr für die schädliche Wirkung der Toxine, sondern für deren potenziellen Nutzen in der Medizin. Der Verlust von Biodiversität ist seiner Meinung nach auch ein Verlust von Bioressourcen. Denn jedes Tier habe seinen eigenen Giftcocktail. Stirbt eine Art aus, bevor sie untersucht wurde, sei »dies eine vertane Chance für einen neuen Wirkstoff«.

Bewährtes Heilmittel

Daher war es für Lüddecke naheliegend, sich auch mit dem Gift der Stechimmen (Bienen, Wespen und

Ameisen) zu beschäftigen. Die Tiere nutzen es, um ihre Brut vor Parasiten zu schützen, zur Jagd oder um Feinde abzuwehren – etwa hungrige Bären, die sonst bei der Honigsuche einen Bienenstock zerstören.

Das Gift der Honigbiene setzen Menschen schon seit Jahrhunderten als Heilmittel ein: gegen Bakterien, Viren, Pilze, es fördert die Durchblutung oder senkt den Cholesterinspiegel. Der Giftcocktail besteht aus einer wässrigen Lösung mit Feststoffanteil. In diesem finden sich Enzyme, kleinere Mengen diverser Eiweiße, Duftstoffe, Zucker und Histamin. »Hauptsächlich enthält es zu etwa 50 Prozent das Melittin«, erklärt Toxinologe Lüddecke. Das zerstört das Gewebe rund um die Einstichstelle, integriert sich in die Zellmembran der roten Blutkörperchen und macht diese löchrig bis zur Zerstörung. In einem Verbundprojekt des LOEWE-Zentrums für Translationale Biodiversitätsgenomik (LOEWE-TBG), das außer Lüddecke und seinem Team rund 20 Forschungsgruppen umfasst, suchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Variante des Melittins, die medizinisch besser nutzbar ist. Acht Bienenarten kamen in die engere Wahl. Neben der Honigbiene gehörten auch Wildbienen dazu. Diese sind entwicklungsbiologisch über 50 Millionen Jahre älter. Zudem leben viele von ihnen solitär, sind also Einzelgänger, die keinen Bienenstock verteidigen müssen. Daher lag die Vermutung nahe,



Das Gift der Holzbiene zeigt eine vielversprechende Wirkung auf Brustkrebszellen.

das ursprünglichere Melittin-Eiweiß der Wildbienen könnte weniger toxisch auf menschliche Körperzellen wirken, dafür zerstörerischer auf Krebszellen.

Giftstoffe aufwendig analysiert

Von jeder Art wurden zehn bis 20 Tiere der Natur entnommen. Dafür brauchten Lüddecke und seine Kollegen eine Ausnahmegenehmigung – und einen Kescher. Nach dem Fangen wurden die Insekten zunächst »in speziellen Käfigen gehalten, damit sie sich erst einmal akklimatisieren«. Danach habe man die Giftdrüse zusammen mit dem Stachel herausoperiert.

In einem ersten Schritt wurde das Toxin jeder Bienenart biochemisch analysiert. Pro Tier waren nur wenige Mikroliter des jeweiligen Giftcocktails verfügbar, viel zu wenig für die aufwendigen Versuche. Daher wurden die einzelnen Bestandteile chemisch synthetisiert, wodurch schließlich je zehn Milligramm für weitere Tests zur Verfügung standen.

Die Versuche an Körper- und auch an Krebszellen wurden von Kollegen am Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP in Frankfurt durchgeführt. »Ein Toxin kann bei Körperzellen eine andere Wirkung entfalten als bei Krebszellen«, erklärt Lüddecke. Bei den einzelnen Bestandteilen wurde daher genau geprüft, wie schädlich sie

sich auf die verschiedenen Zelltypen auswirken, und wie deren Stoffwechsel beeinflusst wird.

Bei den Analysen fiel unter anderem das Melittin der Violetten Holzbiene (*Xylocopa violacea*) auf. Da die vergangenen beiden Jahrzehnte aufgrund des Klimawandels überdurchschnittlich warm waren, konnte diese ihren Lebensraum hierzulande deutlich ausweiten, sie kommen mittlerweile nicht nur im Süden, sondern auch im Norden vor. Das Insekt gehört zur Familie der Echten Bienen (Apidae), obwohl es eigentlich wie eine dicke, schwarze Hummel aussieht. Seinen Namen hat der Brummer vom leicht violetten Schimmer auf den Flügeln und der Vorliebe für Totholz, in das er seine Nistgänge baut.

Vielversprechend gegen Brustkrebs

Das Gift dieser Holzbiene zeigte eine vielversprechende Wirkung auf Brustkrebszellen. Erste Ergebnisse zum pharmakologischen Potenzial wurden Ende 2022 im Fachblatt »Toxins« veröffentlicht. Weitere Untersuchungen sollen in den nächsten zwei Jahren folgen. »Wir möchten unsere Studie auf andere Bienenarten ausweiten. Dabei interessiert uns besonders, aus welchen Bestandteilen deren Gift besteht«, erklärt Lüddecke. Und ganz klar, »welche krebszellspezifischen Eigenschaften das jeweilige Melittin hat«. ■

»Stirbt eine Art aus, ist dies eine vertane Chance für einen neuen Wirkstoff.«

Dr. Tim Lüddecke,
Fraunhofer IME

Ein Diamant für mehr Bewegungsfreiheit

Ein rötlich leuchtender Edelstein, der gelähmten Menschen mehr Bewegungsfreiheit schenkt? Klingt nach Magie, ist es aber nicht. Diamantene Sensoren könnten die präzisere Steuerung von Exoskeletten ermöglichen.

Von Yvonne Weiß



NV-Diamanten fluoreszieren rot. Sie entstehen vollständig im Labor.



Mobile Hand-Exoskelette nutzt Prof. Soekadar, um Greifbewegungen zu trainieren. Je Hand wiegen sie knapp 400 Gramm.

Es ist nur ein Handgriff, mehr nicht. Doch für die Patientin, deren Hand seit einem Schlaganfall gelähmt ist, bedeutet der Griff nach einem Buch sehr viel. Sie schlägt es auf, blättert die erste Seite um. Gesteuert wird ihre Hand, die in einer Art Hightech-Handschuh steckt, allein von ihren Gedanken. Wie dieses besondere Szenario Alltag werden könnte, erforscht Prof. Surjo R. Soekadar von der Charité gemeinsam mit Projektleiter Dr. Jan Jeske vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF und weiteren Partnern im Leuchtturmprojekt NeuroQ.

Das interdisziplinäre Konsortium möchte Menschen Teile der Bewegungsfreiheit zurückgeben, die sie verloren haben – etwa durch einen Schlaganfall oder eine Lähmung.

Jeske, der am Fraunhofer IAF die Gruppe Quantensensorik leitet und Initiator von NeuroQ ist, entwickelt mit seinem Team hierfür hochsensitive Quantensensoren, die diamantbasiert sind. Die Sensoren sollen an der Kopfhaut des Patienten angebracht werden und jene Magnetfelder präzise auslesen, die bei Hirnaktivitäten entstehen. Der reine Gedanke an die Bewegung soll dann ausreichen, um das neurale Hand-Exoskelett präzise zu steuern.

Soekadar, Professor für Klinische Neurotechnologie und Leiter des Forschungsbereichs Translation und Neurotechnologie an der Charité, testet die neuen Sensoren anschließend mit seinem Team am Patienten.

Erste Ansätze, Hirnsignale mittels Elektroenzephalographie (EEG) in Steuersignale zu übersetzen, gibt es bereits seit den späten 1950er-Jahren; 1999 wurde die erste klinisch relevante Gehirn-Computer-Schnittstelle präsentiert, die auf EEG basierte. Im klinischen Umfeld lassen sich mittlerweile jene Hirnsignale, die via EEG an der Kopfoberfläche gemessen werden, als Steuersignale an das Exoskelett weiterleiten. Allerdings können herkömmliche EEG-Systeme die Felder nur ungenau auslesen; durch den Schädel werden die Signale abgeschwächt und verzerrt. Das Handskelett kann zwar greifen und loslassen, eine komplexe Handbewegung kann aber bislang nicht gesteuert werden mit einem nicht-invasiven System. Dafür braucht es deutlich sensitivere Sensoren.

Jeske hatte bereits als Postdoc die Idee, einen Laser-Sensor zu entwickeln, der auf einem sogenannten NV-Diamanten basiert. NV-Diamanten enthalten Stickstoff-Vakanz-(NV-)Zentren, einige wenige ihrer Kohlenstoffatome sind also durch Stickstoffatome ersetzt.

Dieser Diamant, der vollständig im Labor hergestellt wird und dank seiner NV-Zentren rot fluoresziert, könnte nun die Sensortechnologie revolutionieren. Durch sein Material bringt er entscheidende Vorteile mit sich. NV-Diamanten sind biokompatibel: nicht giftig oder reizend, sie strahlen nicht und können problemlos bei Raum- oder Körpertemperatur eingesetzt werden. Auf diesen Eigenschaften beruht das Konzept, mit dem Jeske unter Verwendung von NV-Diamanten, die von einem Lasersystem beleuchtet werden, Magnetfelder hochpräzise vermessen möchte.

Quantensensoren sollen durch Jeskes Lasersystem bereits kleinste Magnetfelder genau auslesen können, die bei Hirnaktivitäten entstehen, und diese so in komplexe Steuersignale übersetzen. »Aus Simulationen wissen wir, dass Quantensensoren so präzise messen können, wie es bisher nur durch Implantationen erreicht wurde. Das motiviert uns sehr«, betont Soekadar. Man wolle bewusst auf nicht-invasive Technologien setzen, um die Risiken für die Patientinnen und Patienten zu reduzieren.

Herausforderung dabei ist, dass herkömmliche Magnetfeld-Sensoren bisher nur bei Tieftemperaturkühlung oder in einem abgeschirmten Raum präzise Signale auslesen können. Im Alltag verzerren andere Magnetfelder, die etwa durch die Erde und Elektronik entstehen, die Messergebnisse.

Jeskes Laserdiamant könnte dieses Problem nun lösen. »NV-Diamanten bieten eine große Perspektive, da sie trotz anderer Magnetfelder im Hintergrund noch präzise messen können«, erklärt der Wissenschaftler. Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften könne der Diamantsensor künftig also auch im Alltag zuverlässig funktionieren – nicht nur im abgeschirmten Raum der Klinik. Jeske: »Mich begeistert die Vorstellung sehr, Menschen einen Teil der verlorenen Bewegungsfähigkeit zurückzugeben. Mir liegt viel daran, dieses Herzensprojekt zum Erfolg zu bringen.«

Um dieses Ziel zu erreichen, unterstützt ein Team der Universität Stuttgart das Projekt. Die Universität ist weltweit führend in der präzisen Magnetfeldmessung mit NV-Zentren. Außerdem sind die Industriepartner Twenty-One Semiconductors, Sacher Lasertechnik GmbH, Advanced Quantum GmbH, W+R Schirmungstechnik GmbH, neuroConn GmbH sowie NIRx Medizintechnik GmbH an NeuroQ beteiligt. Sie kümmern sich um die tatsächliche Realisierung und Kommerzialisierung der Technologie in Deutschland. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt ist im Dezember 2022 gestartet und hat eine Laufzeit von fünf Jahren. ■



»Mich begeistert die Vorstellung sehr, Menschen einen Teil der verlorenen Bewegungsfähigkeit zurückzugeben.«

Dr. Jan Jeske,
Fraunhofer IAF

Wund(erbar)

Ein biologisch abbaubares Faservlies aus Kieselgel erlaubt neue Anwendungen im Körperinneren: Mit der Renacer®-Membran könnten Operationswunden besser heilen und Medikamente direkt im Gehirn zur Wirkung kommen.

Von Dr. Monika Offenberger

Wer großflächige Wunden oder Verbrennungen behandeln will, steht vor einem Problem: Einerseits soll das Verbandsmaterial regelmäßig gewechselt, andererseits soll die natürliche Wundheilung nicht gestört werden. Besonders deutlich zeigt sich dieses Dilemma bei schlecht heilenden chronischen Wunden, etwa an den Füßen von an Diabetes Erkrankten. »Aktuell am Markt erhältliche Materialien müssen meist alle drei Tage entfernt werden. Dabei wird die Wundruhe gestört, was die Heilung verzögert«, sagt Dr. Bastian Christ, Chemiker am Würzburger Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC. Die Lösung bietet ein am ISC entwickeltes Faservlies aus resorbierbarem Kieselgel.

»Unser offenmaschiges Vlies wird passgenau zur Wundgeometrie zugeschnitten und dann direkt in die Wunde hineingelegt, damit die Faserenden Kontakt zu gesunden Hautzellen haben. Von dort können dann Bindegewebszellen über die Faserstruktur in die Wunde einwandern und sich vermehren«, erläutert Christ. In einer klinischen Studie waren fast alle solcherart behandelten Wunden am diabetischen Fuß innerhalb von sechs bis acht Wochen gänzlich verheilt. Das Fraunhofer ISC-Material hatte lange genug seine Form bewahrt, bis die Zellen ein neues Gewebe gebildet hatten – und sich erst dann vollständig biologisch abgebaut.

Diese Eigenschaften zeichnen das Kieselgel-Vlies gegenüber nicht abbaubaren Wundaufgaben wie Zellstoff aus – aber auch gegenüber biologisch resorbierbaren Materialien wie Kollagen, Polymilchsäure und Polyglykolsäure: Faservliese aus diesen Materialien sind nicht formstabil, sondern ziehen sich mit der Zeit zusammen und werden dichter; dabei verlieren sie den Kontakt zu den gesunden Zellen, die in das zunehmend enger werdende Fasergeflecht ohnehin nicht mehr einwachsen könnten. Anders als die bis zuletzt formstabile Fraunhofer-Entwicklung sind sie also zur dauerhaften Einlage in Wunden weniger geeignet. Ein weiterer Vorteil der Kieselgel-Fasern: Sie zersetzen sich vollständig und ausschließlich in Monokieselsäure.

»Das ist ein kleines, wasserlösliches Molekül, das überall in der Natur und auch in der Gewebeflüssigkeit unsere Körpers vorkommt. Zusätzlich ist es bioaktiv und unterstützt im Körper den Aufbau von Haut, Bindegewebe, Haaren und Nägeln«, erklärt Dr. Christina Ziemann vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover. Anders als ihr Name vermuten lässt, trägt die Monokieselsäure nicht zur Übersäuerung bei – auch das ist ein Vorteil gegenüber anderen biodegradierbaren Materialien. Denn diese lösen sich oft zu organischen Säuren wie Milchsäure oder Glykolsäure auf und können zur Übersäu-





Foto: Frank Baquet/plainpicture

Dünn, dünner – bis zu
100 Nanometer dünn:
Verbandsmaterial je nach
Anwendungszweck.

zurück zu Seite 1

erung im Gewebe und damit zu entzündlichen Reaktionen des Immunsystems führen.

Das Vlies wurde gemäß ISO-Norm in Zellkulturen auf seine biologische Verträglichkeit geprüft. Ergebnis: Es verursachte keinerlei Schäden an Säugetierzellen. So blieben die Zellmembranen und das Erbgut unbeeinflusst und auch das Wachstums- und Stoffwechselverhalten der Zellen änderte sich nicht. Dies gilt gleichermaßen für das intakte Vlies wie für sein einziges Abbauprodukt, die Monokieselsäure. Und es gilt auch für ein neues, 2022

»Wir könnten unsere Membran mit einem Antibiotikum bestücken, das in die Wunde abgegeben wird.«

Dr. Bastian Christ, Fraunhofer ISC

patentiertes Kieselgel-Faservlies namens Renacer®, das mit einem zusätzlichen Plus aufwarten kann: »Unser jüngstes Produkt hat das gleiche Eigenschaftsprofil wie das Vorläufer-Vlies, das bereits 2010 die Zulassung als Medizinprodukt Klasse III erhalten hat. Und es lässt sich zu noch feineren Fasern verspinnen«, erklärt Bastian Christ: »Unser klassisches Material hat Faserdurchmesser von rund 50 Mikrometern, ähnlich einem menschlichen Haar. Beim neuen Material erreichen wir zusätzlich auch Durchmesser zwischen 1 Mikrometer und 100 Nanometer. Je dünner die einzelnen Fasern, umso enger sind die Maschen im Vlies – und das können wir über die Synthese unserer Spinnflüssigkeit ziemlich genau einstellen.« Damit eignet sich die Renacer®-Membran für eine Fülle neuer Anwendungen. Denn je nach Maschengröße ist sie für Körperzellen passierbar oder eben nicht; in jedem Fall ►

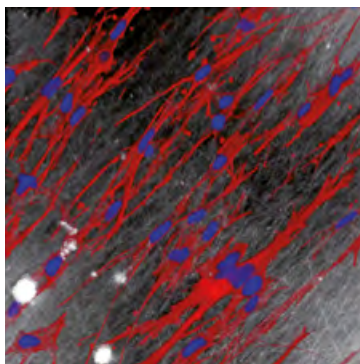
erlaubt sie aber den Austausch von Nährstoffen und anderen Biomolekülen.

»Das kann man sich in der regenerativen Medizin zunutze machen«, erläutert Christ: »Wenn wir die Maschen offen genug gestalten, können wir eine dem Kollagen ähnliche Struktur im Körper nachahmen und über mehrere Wochen formstabil halten, während sie sich abbaut. In dieser Zeit können sich darauf Bindegewebszellen ansiedeln. Es wäre also denkbar, dass wir analog zu äußeren Hautwunden auch im Inneren des Körpers die Wundheilung unterstützen könnten.«

Im Brutschrank kultivierte menschliche Fibroblasten verhalten sich tatsächlich wie von dem Chemiker erwartet: Sie wachsen binnen weniger Tage in ein Stück Vlies ein und haben es nach zwei Wochen vollständig durchdrungen. Nicht immer ist dieser Effekt erwünscht. So will man beispielsweise nach einer Operation an Darm oder Gebärmutter die Wunde von umgebendem Gewebe abschirmen, um Verwachsungen mit dem Bauchfell zu vermeiden. In diesem Fall könnte ein möglichst engmaschiges Kieselgel-Vlies als schützende Barriere die Wunde gegen einwandernde Bindegewebszellen abschirmen – um sich später in Monokieselsäure aufzulösen.

Nicht nur der Faserdurchmesser und die Maschendichte der Renacer®-Membran lassen sich variieren. Das neuartige Vlies kann auch mit therapeutischen Wirkstoffen beladen werden, die es während seiner Zersetzung wieder freigibt. Mit diesem innovativen System einer Wirkstoffverabreichung eröffnen sich neue Therapieoptionen für die Wundheilung, erläutert Christ: »Wir könnten unsere Membran beispielsweise mit einem Antibiotikum bestücken, das in die Wunde abgegeben wird, um bakteriellen Infektionen vorzubeugen.«

Ein weiteres Anwendungsfeld bieten aggressive Hirntumore wie das Glioblastom. Den rund 3000 Menschen, die jedes Jahr allein in Deutschland daran erkranken, verbleiben im Mittel nur 15 bis 20 Monate Lebenszeit – selbst wenn sie alle verfügbaren Therapien erhalten: Zunächst wird der Tumor so weit wie möglich aus



»Wir wollen unsere Kieselgelfasern mit zwei bereits zur Krebstherapie zugelassenen Wirkstoffen modifizieren, die dann direkt am ursprünglichen Ort des Tumors freigesetzt werden sollen.«

Dr. Sofia Dembski, Fraunhofer ISC

dem Hirngewebe herausoperiert, dann bestrahlt, mit Chemotherapeutika behandelt und schließlich elektrischen Wechselfeldern ausgesetzt. »Dennoch schaffen wir es nicht, alle Tumorzellen abzutöten. So entstehen regelmäßig neue Tumorherde, die schließlich zum Tod der Betroffenen führen«, erklärt Prof. Carsten Hagemann, Leiter der Sektion Experimentelle Neurochirurgie an der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Würzburg.

Viele hochwirksame Krebsmedikamente kommen für die Behandlung von Glioblastomen nicht infrage, weil sie die Blut-Hirnschranke nicht passieren können. Und auch jene Wirkstoffe, die diese Barriere über-

winden, müssen systemisch verabreicht werden, sprich: Sie gelangen über das Blut überallhin statt nur an den Tumor – und entfalten im übrigen Körper für die Patienten oft sehr belastende Nebenwirkungen.

»Besser wäre es, die Medikamente lokal direkt im Gehirn auszubringen, um ihre Wirkung zu steigern und Nebenwirkungen möglichst gering zu halten«, betont Diplom-Biologe Hagemann. So entstand die Idee, die Renacer®-Membran zur Behandlung von Glioblastomen zu nutzen. »Wir wollen unsere Kieselgelfasern mit zwei bereits zur Krebstherapie zugelassenen Wirkstoffen modifizieren, die dann direkt am ursprünglichen Ort des Tumors freigesetzt werden sollen«, erklärt Dr. Sofia Dembski, die das Team Biomaterialien am Fraunhofer ISC leitet. Wie das gelingen könnte, beschreibt Carsten Hagemann: »Wir stellen uns vor, dass man die Operationshöhle nach der Tumorsektion mit dem arzneibeladenen Vlies zumindest an den Wänden auskleidet oder sogar ganz ausfüllt. Der Vorteil dieses Materials ist ja, dass es flexibel ist und sich anpassen kann, wenn sich Form oder Volumen der Resektionshöhle verändern. Während sich die Kieselgelfasern zersetzen, geben sie konstant die Zytostatika ab. Wenn das direkt am Tumorrandgewebe geschähe, könnten sie dort mit maximaler Wirksamkeit ein neuerliches Tumorwachstum hemmen.«

Ob sich diese Vision zukünftig realisieren lässt, wollen die Forschungsteams von Fraunhofer ISC und Klinikum zunächst an zwei- und dreidimensionalen Zellkulturen ausloten. Dazu soll bei Operationen entnommenes Tumorgewebe – mit Einverständnis der betroffenen Patienten – in Kultur genommen und mit der wirkstoffbeladenen Renacer®-Membran in Kontakt gebracht werden. Das Pilotprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit 1,6 Millionen Euro gefördert. »In drei Jahren wollen wir eine wirksame Methode entwickeln, mit der sich die derzeitigen Therapiemöglichkeiten von Glioblastomen erweitern lassen«, so Hagemann: »Wir hoffen, dass wir damit die Überlebenszeiten der Betroffenen bei guter Lebensqualität verlängern können.« ■

Staffellauf des Wissens

***autonome
Fahrzeuge***

***Alltag
?***

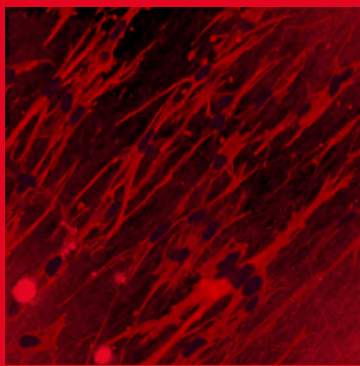
erlaubt sie aber den Austausch von Nährstoffen und anderen Biomolekülen.

»Das kann man sich in der regenerativen Medizin zunutze machen«, erläutert Christ: »Wenn wir die Maschen offen genug gestalten, können wir eine dem Kollagen ähnliche Struktur im Körper nachahmen und über mehrere Wochen formstabil halten, während sie sich abbaut. In dieser Zeit können sich darauf Bindegewebszellen ansiedeln. Es wäre also denkbar, dass wir analog zu äußeren Hautwunden auch im Inneren des Körpers die Wundheilung unterstützen könnten.«

Im Brutschrank kultivierte menschliche Fibroblasten verhalten sich tatsächlich wie von dem Chemiker erwartet: Sie wachsen binnen weniger Tage in ein Stück Vlies ein und haben es nach zwei Wochen vollständig durchdrungen. Nicht immer ist dieser Effekt erwünscht. So will man beispielsweise nach einer Operation an Darm oder Gebärmutter die Wunde von umgebendem Gewebe abschirmen, um Verwachsungen mit dem Bauchfell zu vermeiden. In diesem Fall könnte ein möglichst engmaschiges Kieselgel-Vlies als schützende Barriere die Wunde gegen einwandernde Bindegewebszellen abschirmen – um sich später in Monokieselsäure aufzulösen.

Nicht nur der Faserdurchmesser und die Maschendichte der Renacer®-Membran lassen sich variieren. Das neuartige Vlies kann auch mit therapeutischen Wirkstoffen beladen werden, die es während seiner Zersetzung wieder freigibt. Mit diesem innovativen System einer Wirkstoffverabreichung eröffnen sich neue Therapieoptionen für die Wundheilung, erläutert Christ: »Wir könnten unsere Membran beispielsweise mit einem Antibiotikum bestücken, das in die Wunde abgegeben wird, um bakteriellen Infektionen vorzubeugen.«

Ein weiteres Anwendungsfeld bieten aggressive Hirntumore wie das Glioblastom. Den rund 3000 Menschen, die jedes Jahr allein in Deutschland daran erkranken, verbleiben im Mittel nur 15 bis 20 Monate Lebenszeit – selbst wenn sie alle verfügbaren Therapien erhalten: Zunächst wird der Tumor so weit wie möglich aus



»Wir wollen unsere Kieselgelfasern mit zwei bereits zur Krebstherapie zugelassenen Wirkstoffen modifizieren, die dann direkt am ursprünglichen Ort des Tumors freigesetzt werden sollen.«

Dr. Sofia Dembski, Fraunhofer ISC

dem Hirngewebe herausoperiert, dann bestrahlt, mit Chemotherapeutika behandelt und schließlich elektrischen Wechselfeldern ausgesetzt. »Dennoch schaffen wir es nicht, alle Tumorzellen abzutöten. So entstehen regelmäßig neue Tumorherde, die schließlich zum Tod der Betroffenen führen«, erklärt Prof. Carsten Hagemann, Leiter der Sektion Experimentelle Neurochirurgie an der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Würzburg.

Viele hochwirksame Krebsmedikamente kommen für die Behandlung von Glioblastomen nicht infrage, weil sie die Blut-Hirnschranke nicht passieren können. Und auch jene Wirkstoffe, die diese Barriere über-

winden, müssen systemisch verabreicht werden, sprich: Sie gelangen über das Blut überallhin statt nur an den Tumor – und entfalten im übrigen Körper für die Patienten oft sehr belastende Nebenwirkungen.

»Besser wäre es, die Medikamente lokal direkt im Gehirn auszubringen, um ihre Wirkung zu steigern und Nebenwirkungen möglichst gering zu halten«, betont Diplom-Biologe Hagemann. So entstand die Idee, die Renacer®-Membran zur Behandlung von Glioblastomen zu nutzen. »Wir wollen unsere Kieselgelfasern mit zwei bereits zur Krebstherapie zugelassenen Wirkstoffen modifizieren, die dann direkt am ursprünglichen Ort des Tumors freigesetzt werden sollen«, erklärt Dr. Sofia Dembski, die das Team Biomaterialien am Fraunhofer ISC leitet. Wie das gelingen könnte, beschreibt Carsten Hagemann: »Wir stellen uns vor, dass man die Operationshöhle nach der Tumorsektion mit dem arzneibeladenen Vlies zumindest an den Wänden auskleidet oder sogar ganz ausfüllt. Der Vorteil dieses Materials ist ja, dass es flexibel ist und sich anpassen kann, wenn sich Form oder Volumen der Resektionshöhle verändern. Während sich die Kieselgelfasern zersetzen, geben sie konstant die Zytostatika ab. Wenn das direkt am Tumorrandgewebe geschähe, könnten sie dort mit maximaler Wirksamkeit ein neuerliches Tumorwachstum hemmen.«

Ob sich diese Vision zukünftig realisieren lässt, wollen die Forschungsteams von Fraunhofer ISC und Klinikum zunächst an zwei- und dreidimensionalen Zellkulturen ausloten. Dazu soll bei Operationen entnommenes Tumorgewebe – mit Einverständnis der betroffenen Patienten – in Kultur genommen und mit der wirkstoffbeladenen Renacer®-Membran in Kontakt gebracht werden. Das Pilotprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit 1,6 Millionen Euro gefördert. »In drei Jahren wollen wir eine wirksame Methode entwickeln, mit der sich die derzeitigen Therapiemöglichkeiten von Glioblastomen erweitern lassen«, so Hagemann: »Wir hoffen, dass wir damit die Überlebenszeiten der Betroffenen bei guter Lebensqualität verlängern können.« ■

Staffellauf des Wissens

***Herr Prof.
Mario Trapp,
wann werden
autonome
Fahrzeuge auf
deutschen Straßen
zum Alltag
gehören?***

Staffellauf des Wissens, Folge 8

Herr Prof. Mario Trapp, wann werden autonome Fahrzeuge auf deutschen Straßen zum Alltag gehören?

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. Mario Trapp**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Kognitive Systeme IKS, auf eine Frage von **Prof. Wilhelm Bauer**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

Fahrerlose Robotaxis gehören wie selbstverständlich zu fast jeder Science-Fiction-Geschichte. Sie stehen nahezu synonym für Fortschritt und Zukunft. Wenn uns nun Tech-Unternehmen versprechen, diese Vision aus der Fiktion in die greifbare Nähe des Machbaren zu rücken, steht ihnen die Bühne des breiten öffentlichen Interesses offen. Und sie nutzen diese Bühne. Sie bieten uns glitzernde Shows und lassen damit in der allgemeinen Wahrnehmung die traditionellen Autobauer im biederer Schatten der Vergangenheit zurück. Doch so sehr uns dieses aufwendig inszenierte Narrativ die greifbare Nähe der Zukunft suggerieren mag, führt der Weg zu echten Alltagsprodukten für die Tech-Unternehmen über einen schier unüberwindbar scheinenden Graben: die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Fahrzeuge.

Auf der anderen Seite des Grabens finden wir die klassischen Autobauer. Und es waren auch nicht Tech-Unternehmen, sondern ein deutscher Premiumhersteller, der das weltweit erste automatisierte Fahrzeug vorgestellt hat. Das Auto fährt zumindest in bestimmten Situationen automatisiert selbst und übernimmt dafür auch die Verantwortung, während die Fahrerin oder der Fahrer beispielsweise lesen oder E-Mails bearbeiten kann. Auf Anforde-

zung des Autos muss aber der Mensch wieder die Kontrolle übernehmen. Und der Preis für die Sicherheitszulassung dieses Systems war eine Reduktion der eingesetzten Intelligenz auf ein Minimum, weshalb das System nur unter sehr eingeschränkten Bedingungen überhaupt genutzt werden kann. Diese Technologie wird auch nicht skalieren, um damit die Vision des Robotaxis realisieren zu können. Von alltagstauglichen vollautomatisierten Autos sind wir somit auch hier noch weit entfernt.

Wir können also auf der einen Seite intelligente und auf der anderen Seite sichere Fahrzeuge bauen. Aber die Fähigkeit, intelligente und gleichzeitig sichere Fahrzeuge zu bauen, wird darüber entscheiden, ob und wann wir fahrerlose Fahrzeuge im Alltag sehen werden. Wir nennen das in unserer Forschung am Fraunhofer IKS Safe Intelligence®.

Eine Frage der Sicherheit

Künstliche Intelligenz (KI) ist unerlässlich, um Fahrzeuge zu entwickeln, die in der unendlichen Vielfalt unserer realen Welt bestehen können. Aus der Perspektive der Sicherheit ist KI allerdings kein glänzendes Wundermittel, sondern in erster Linie ein riesiges Problem. Denn so beeindruckend



Prof. Mario Trapp leitet das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS.

KI sein mag, so wenig weiß man, warum sie funktioniert – oder eben aus Sicht der Sicherheit noch wichtiger: wann und warum sie nicht funktioniert. Und Letzteres ist leider keine Ausnahme, sondern passiert zu häufig, als dass man von einer zuverlässig funktionierenden Technologie sprechen könnte. Es ist also allem voran die Frage der Sicherheit, die über die Zukunft des autonomen Fahrzeugs entscheiden wird. Aber die Antwort auf diese Frage ist heute leider immer noch offen.

Es wäre jedoch fatal, deshalb im Namen des Fortschritts eine Lockerung der Sicherheitsanforderungen zu fordern. Denn rational betrachtet können Robotaxis in deutschen Städten im Vergleich zu anderen Maßnahmen nur bedingt zur Sicherheit im Straßenverkehr beitragen und stehen einer nachhaltigen Verkehrswende entgegen. Was bleibt, ist ein reines Komfortangebot, gekleidet in die emotionale Geschichte einer wahr werdenden Zukunftsvision. Kein Grund also, dafür Menschenleben zu riskieren.

Das Autonome Fahren ist auch nicht die Ultima Ratio zum Erhalt der deutschen Innovationsführerschaft. Die zugrundeliegenden Technologien werden wir schon bald in unserem Alltag finden: in der Logistik, auf Baustellen, in der Landwirtschaft oder in der Produktion. Auch wenn diese Anwendungen ein Dasein im Schatten des Leuchtfuers der selbstfahrenden Autos fristen, haben autonome Systeme hier den viel größeren Nutzen und sind gleichzeitig einfacher zu beherrschen.

Wie auch immer sich die Geschichte des autonomen Fahrens fortschreiben mag, autonome Systeme gehören schon bald zum Alltag – wenn auch vielleicht nicht genau so, wie es in den Science-Fiction-Geschichten erzählt wird. ■

Die Fähigkeit, intelligente und gleichzeitig sichere Fahrzeuge zu bauen, wird darüber entscheiden, ob und wann wir fahrerlose Fahrzeuge im Alltag sehen werden.

In der nächsten Ausgabe:

Wann können Biokunststoffe Kunststoffe aus Erdöl vollständig ersetzen?



Höhere Erträge, geringere Verluste

Sichere Lebensmittel, jederzeit verfügbar? Die Krisen und die leeren Regale haben gezeigt: Das ist keine Selbstverständlichkeit. Fraunhofer-Forschung arbeitet daran, mehr Resilienz zu erreichen.

Von Dr. Janine van Ackeren, Fotografie: Sven Döring

Titel



Köstlich und kostbar
Mit der Wertschöpfungskette auch bei der Erdbeere beschäftigt sich Dr. Susann Vierbauch vom Fraunhofer IVV.

Wenn CURT über das Feld rumpelt, erinnert er an einen Tisch, der aus der Küche entflohen ist. Der Outdoor-Roboter besteht aus robusten Rädern, mit denen er selbst unwegsames Gelände meistert, und einer Plattform in gut einem Meter Höhe, in der jede Menge Technik verbaut ist – ein Kamerasystem beispielsweise, das CURT in der Spur hält, wenn er die Furchen links und rechts von den jungen Kartoffelpflanzen entlangrollt, ohne das noch zarte Grün zu zerstören. Oder zumindest nur das, was tatsächlich entsorgt werden soll: Beikraut. Und eines Tages vielleicht auch Schädlinge.

Was früher Unkraut hieß, wird aktuell in der konventionellen Landwirtschaft oft mit dem Herbizid Glyphosat entfernt. Da das Mittel aber keinen Unterschied macht zwischen den einzelnen Wildkräutern, wird alles gleichermaßen vernichtet. Das mindert die Artenvielfalt und befeuert das Insektensterben. In den vergangenen 30 Jahren hat die Insekten-Biomasse um 70 Prozent abgenommen.

Doch jetzt kommt CURT. Entwickelt wurde der Landwirtschaftsroboter von Kevin Bregler, Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts COGNAC, an dem sieben Fraunhofer-Institute beteiligt sind. Prototyp CURT fährt inzwischen auf Kartoffelackern vollelektrisch und autonom über Pflanzenreihen. Ausgestattet mit Laserscanner, Kamera und kleinem GPS-Modul findet er sich allein auf dem Acker zurecht und fräst unerwünschten Bewuchs mit seinem Manipulator so aus dem Boden, dass die wachsenden Kartoffelchen keinen Schaden nehmen. »Das Besondere: CURT entfernt die Beikräuter selektiv. Er kann also beispielsweise Brennesseln am Rand des Feldes stehen lassen, während er andere Beikräuter ausrupft«, erläutert Bregler. Die Reste dieser Aktion bleiben anschließend als Dünger auf dem Feld liegen. Diese Entwicklungen sind erst der Start: Künftig soll CURT in Dauerkulturen wie dem Obstbau eingesetzt werden, auch für Kaffeepflanzen gibt es bereits Anfragen aus der Industrie.

Immer ausreichend zu essen: Alles eine Frage der Resilienz

Erträge erhöhen, Verluste minimieren, selbst in Krisenzeiten sicher liefern und dabei immer an die Nachhaltigkeit denken: Der Druck auf die Lebensmittelproduktion

ist in den letzten Jahren extrem gewachsen. Dass die Versorgung mit Nahrungsmitteln selbst in Deutschland keine Selbstverständlichkeit ist, wurde vielen Angehörigen der Generationen X, Y und Z erstmals in der Coronapandemie bewusst. Der russische Angriffskrieg in der Ukraine hat dieses Gefühl noch einmal verschärft. Fachkräftemangel und Klimawandel mindern die Versorgungssicherheit langfristig. Wie lässt sich die Lebensmittelproduktion in Deutschland resilienter gestalten? Um Antwortmöglichkeiten auf diese Frage zu entwickeln, hat sich Fraunhofer zu einer starken Allianz Ernährungs-

wirtschaft zusammengeschlossen.

»Dabei bündeln 13 Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen und bieten Industriekunden Wissen aus einer Hand«, erläutert Prof. Mark Bücking, der die Geschäftsstelle leitet. Im Alten Land, dem größten zusammenhängenden Obstanbaugbiet Nordeuropas, kämpfen die landwirtschaftlichen Betriebe bereits seit Jahren mit den Folgen des Klimawandels, aber auch gegen die Folgen menschlichen Tuns. Durch die Elbvertiefung etwa ist der Grundwasserspiegel gesunken, der Boden versalzt zunehmend. Im Projekt SAMSON arbeiten For-

schende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM gemeinsam mit der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, der hochschule 21 und der Technischen Universität Hamburg an Automatisierungssystemen, die das Erfahrungswissen der Obstbauern und -bäuerinnen ergänzen.

Die Bäume dürfen beispielsweise nicht zu viel tragen, sonst fällt die Ernte im nächsten Jahr schwach aus. Beobachtet der Apfelbauer also 30 Prozent zu viel Blüten, schneidet er üblicherweise 30 Prozent aus – allerdings auch bei Bäumen, bei denen die Blütenanzahl passend gewesen wäre. Dadurch sinkt der Ertrag. Die Technologen gehen deshalb einen anderen Weg: »Wir erfassen jeden Baum als Individuum«, sagt Benjamin Schulze, Gruppenleiter am Fraunhofer IFAM. »Dazu bekommt jeder einen Digitalen Zwilling.« Während der Landwirt durch die Apfelbaumreihen fährt und anderen Arbeiten nachgeht, nehmen Kameras und Sensoren automatisch Bilder im sichtbaren und infraroten Spektralbereich auf, ermitteln Temperaturen und genaue GPS-Daten. Anhand der Daten leiten Softwarelösungen mittels intelligenter Algorithmen Informationen zur optimierten Behandlung der einzelnen Bäume ab – so kann sich der Obstbauer über eine interaktive Nutzeroberfläche alle Bäume anzeigen lassen, die stets weniger ▶

»Geraten Pflanzen in Stress, sondern sie flüchtige Gase ab.«

Dr. Axel Wille,
Fraunhofer EMFT





Frisch und flink ans Ziel
Der Transport von
Lebensmitteln und die
Überwachung bis zum
Supermarkt – das sind
FRESH-Themen, mit denen
sich Dr. Axel Wille vom
Fraunhofer EMFT befasst.

Ertrag liefern als andere oder individuelle Kultivierungsmaßnahmen je Baum planen.

Die Daten, über Künstliche Intelligenz interpretiert, dienen auch Robotern dazu, die Blüten jedes Baumes bedarfsgerecht herauszuschneiden. »Über unser System wollen wir die Ernte sicherstellen und sie konstanter und vorhersagbarer gestalten«, sagt Schulze. Auf einem Projekt Hof werden die Forschenden künftig einmal monatlich mit der entwickelten Sensorbox durch die Apfelbaumreihen fahren und Daten aufnehmen und somit einen kleinen, aber hochinnovativen Obstbaubetrieb nachbilden. »Ab Sommer 2023 können Obstbauern und -bäuerinnen unsere Entwicklung dort testen. Schließlich liegt der Schwerpunkt des Projekts im Wissenstransfer. Genauer gesagt darin, die entwickelten Technologien in die Anwendung zu bringen«, sagt Schulze und fügt hinzu: »Um den Beruf des Obstbauern auch in Deutschland langfristig attraktiv zu halten.«

Im Januar 2023 frisch gestartet ist das Projekt AGRARSENSE: 52 Partner aus 15 EU-Ländern (darunter

auch das Fraunhofer-Institut für Elektronische Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT) entwickeln 49 neue Produkte für sieben Anwendungsfälle – unter anderem für die Landwirtschaftsrobotik, die optimale Bodenbewirtschaftung und Düngung sowie das Wassermanagement, das bei steigenden Temperaturen seit Jahren immer herausfordernder wird.

Das Fraunhofer EMFT will das durch die klimatischen Veränderungen immer größer werdende Leiden auf den Feldern messbar machen, um so die benötigte Hilfe präzise steuern zu können. »Geraten Pflanzen in Stress, etwa durch Trockenheit, Schädlinge oder Nährstoffmangel, sondern sie flüchtige Gase ab«, erklärt Dr. Axel Wille, der am Fraunhofer EMFT die technisch-wissenschaftliche Koordination des Gesamtprojekts innehat. »Über eine Art elektronischer Nase an Robotern wollen wir diese erkennen.«

Damit der Roboter diese Gase detektieren kann, müssen die allerdings nah genug an den Sensor gelangen. Wille und sein Team entwickeln daher Mikropumpen, die die Gase ansaugen. Langfristig soll sich so nicht nur sagen las-



»Resilienz muss machbar sein«

Wie Ernährung sicherer wird – und genussvoller. Prof. Andrea Büttner, Geschäftsführende Institutsleiterin des Fraunhofer IVV, als wissenschaftliches Mitglied berufen in die Ständige Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln der DFG.

Interview: Josef Oskar Seitz

Jeder neunte Mensch auf der Welt ist unterernährt oder hungert. An die Betroffenheit haben wir uns gewöhnt, Frau Prof. Büttner. Gibt es neue Lösungsansätze?

Die Herausforderung reicht ja noch viel weiter. Ein viel größerer Teil der Menschen ist fehlernährt – und das massiv gerade auch in den reichen Industrienationen: Mineralstoff- und Vitaminmangel, die Überernährung eskaliert.

Machen wir damit das Problem nicht so groß, dass es unlösbar wird?

Was uns verloren gegangen ist, ist der Blick für das Wichtige. Darauf wollen wir in der Fraunhofer-Allianz für Ernährungswirtschaft fokussieren. Wir

erleben ein Resilienz- und Souveränitätsproblem: in der Energieversorgung, im Gesundheitsbereich – und eben auch in der Lebensmittelversorgung. Was wir vor allem neben der reinen Technologie-sicht brauchen, ist eine Lage- und Szenariobetrachtung.

Und welche Szenarien zur Lösung sehen Sie?

Regionalisierung ist ein großes Thema. Wir müssen zudem ganz neue Anbauformen erschließen: Vertical Farming, Indoor-Farming sind technische Fortschritte, die uns mit Sicherheit um ein Wesentliches weiterbringen werden, gleichzeitig sind degradierende Böden und Wasser ein globales Problem, das

für jede Form bioökonomischer Wertschöpfung zentral steht. Was sich dabei ganz schnell ändern muss, ist unser Umgang mit den Ressourcen. Wir denken gerade in großem Maßstab darüber nach, wie Rest- und Nebenströme verwertet, veredelt werden können und hierzulande, aber auch weltweit in den Handel und vor allem zum Verzehr kommen können.

Restströme klingt so technisch. Worum geht es konkret?

Um vieles. Obst und Gemüse sind heute zahlreichen Normen und Regularien unterworfen. Und was nicht der Norm entspricht, kann aus dem Prozess verloren gehen. Mit Partnern entwickeln wir

»Wichtig ist uns vor allem der Transfergedanke – wir wollen bereits bestehende Technologien intensiv nutzen.«



Dr. Susann Vierbauch, Fraunhofer IVV

sen, ob eine Pflanze unter Stress steht, sondern auch, unter welchem genau: Wassermangel, zu wenig Nährstoffe oder Schädlinge. Der Vorteil an diesem Verfahren liegt auf der Hand: Wasser, Dünger und Pestizide müssen nicht mehr großflächig verteilt werden, sondern lassen sich zielgerichtet und bedarfsgerecht auf die Pflanzen geben.

Produktion sichern entlang der Wertschöpfungskette

Die Landwirtschaft der Zukunft treibt auch das Fraunhofer-Zentrum für Biogene Wertschöpfung und Smart Farming voran. Gegründet 2022, entwickeln darin die Fraunhofer-Institute für Integrierte Schaltungen IIS, für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, für Elektronische Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT, für Graphische Datenverarbeitung IGD und für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP Technologien für eine resilientere Lebensmittelversorgung. Der Bund und die Länder Bayern und Mecklenburg-Vorpommern leisten die Anschubfinanzierung in Höhe von 80 Millionen Euro. »Wichtig ist uns vor allem der Transfergedanke – wir wollen bereits bestehende Technologien intensiv nutzen, und zwar entlang der gesamten Wertschöpfungskette«, erklärt Dr. Susann Vierbauch vom Fraunhofer IVV.

Was das heißt, lässt sich am Beispiel der Erdbeere durchspielen. Aufgrund des Fachkräftemangels, ▶

Technologien, mit denen auch kleinere Unternehmensformen wie genossenschaftliche Betriebe solche Lebensmittel zu Smoothies oder zu Crunchy-Produkten verarbeiten können. Dazu kommt ein Thema, das trotz der durchlebten Krisen noch gar nicht richtig in den Köpfen angekommen ist: Bevorratung und Vorratshaltung. Kommen wir auf Ihre Frage nach dem Welthunger zurück. In vielen Regionen Afrikas gäbe es keine Mangelsituationen, wenn vor Ort die geeigneten Maschinen und Technologien im Einsatz wären, um regional in Überflusszeiten Lebensmittel zu verarbeiten, haltbar und bevorratbar zu machen. Da müssen wir jetzt und sofort ansetzen. Und das tun wir, als Fraunhofer-Allianz, aber auch mit starken Partnern wie der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und der TU München. Deutschland liegt da übrigens gar nicht so weit weg von Afrika. Wir haben hier ein System gezüchtet, in dem den Landwirtinnen und Landwirten die Rohstoffe oftmals auf einer sehr billigen Stufe aus der Hand genommen werden, um dann von der nachgeschalteten Industrie verarbeitet

und verwertet zu werden. Bäuerinnen und Bauern brauchen die Technik und die maschinellen Lösungen, damit sie Obst, Gemüse und Kartoffeln nicht nur anbauen und abgeben, sondern direkt weiterverarbeiten können zu Produkten, über die sie mehr Wertschöpfung generieren können. Damit bekommen wir mehr Regionalität. Und weniger Ernte- und Nachernteverluste, aber auch eine Steigerung an Gütern, die bei uns regional über die Saison hinweg konsumiert werden können.

Schöne Idee, warum soll ich als satter, zufriedener Verbraucher etwas an einem System ändern wollen, das mich doch eben satt und zufrieden gemacht hat?

Weil Sie sensorisch Freude haben werden an mehr Variantenreichtum. Wenn wir zu einem System kommen, in dem regionaler produziert und in den Supermärkten angeboten wird, dann gewinnen Sie deutlich mehr Diversität! Wir sehen schon heute zahlreiche neue Kreationen, und die Freude am Mitgestalten und am Genuss wächst.

Dem Verbraucher versprechen Sie mehr Vielfalt, mehr Genuss. Was ist der Anreiz für die Wirtschaft, mehr Veränderung zu wagen?

Stabilere Lieferketten! Und Zukunftssicherheit! Ich warte auf die Unternehmerin und den Unternehmer, die in der Lage sind, so vorausschauend zu denken, dass sie heute schon den Tag vorwegnehmen, wenn die Gesetzgebung auch im Lebensmittelbereich insgesamt regulierend eingreifen wird. Oder ihnen die nächste Krise eine Grundlage entzieht, die sie bis gestern noch für gesichert hielten, in unserem globalen komplexen Netz.

Ist Resilienz also machbar?

Klar. Und mehr noch: Sie muss machbar sein. Dafür werden zwar tiefgreifende Veränderungen nötig sein. Die haben aber einen Riesenvorteil: Sie haben das Potenzial, unsere Lebensqualität insgesamt zu verbessern. Wenn wir Beispiele schaffen, die das vorleben, dann setzt sich das fort wie ein Keim. Und wächst. Und gedeiht.

steigender Lohnkosten und hohen Qualitätsansprüchen der Verbraucher ist bereits beim Setzen der Pflanzen eine zunehmende Automatisierung gefragt. Eine besondere Robotik soll es ermöglichen. »Die Pflanzbehälter werden nach dem Stand der Technik von einer Befüllmaschine mit einer definierten Menge an Pflanzsubstrat befüllt. Der Roboter schaufelt Löcher in das Substrat, packt die Erdbeerpflanze mit pneumatisch angesteuerten Fingern am Wurzelballen, stellt sie hinein und drückt sie an – ohne die Pflanze dabei zu beschädigen«, sagt Kai Potthoff, Wissenschaftler am Fraunhofer IGP. Das ist durchaus herausfordernd, denn die Pflanzen müssen im gleichen Abstand voneinander, nicht zu tief und nicht zu hoch im Pflanzsubstrat sitzen, um sich optimal zu entwickeln. Auch muss der Roboter in puncto Geschwindigkeit mit der Befüllanlage mithalten – eine Aufgabe, an der die Mitarbeitenden derzeit arbeiten.

Damit die Erdbeerpflanzen möglichst viel Ertrag liefern, müssen sie im nächsten Schritt gedüngt, bewässert und geschützt werden. »Wir möchten weg von einer Summensensorik über alle Pflanzen in einem Gewächshaus oder auf einem Acker – und messen die entsprechenden Parameter daher lokal und individuell«, sagt Christian Wald, Wissenschaftler am Fraunhofer EMFT. Das soll eine Datenplattform ermöglichen, die orts- und zeitaufgelöst alles Relevante von Nährstoffeintrag über Wasserversorgung und Beleuchtung bis hin zu Luftzuständen misst und auswertet.

Mit einer großen Anzahl Sensoren im Folientunnel ist noch nichts erreicht. Diese müssen ihre Daten auch auf effiziente Weise an eine Sammelstelle übertragen können. Hier kommt die Funktechnologie mioty® vom Fraunhofer IIS ins Spiel. Bei welchen genauen Umgebungsbedingungen die Erdbeeren am besten gedeihen, messen die Forschenden, indem sie das Wurzelwachstum der Pflanzen per Röntgentechnologie quantitativ analysieren. Langfristig sollen die Daten dabei helfen, Dünger, Wasser und Co. bedarfsgerecht einzustellen – Pflanze für Pflanze.

Ein wichtiger Punkt, wenn es um eine effizientere Produktion geht, liegt darin, Pflanzenkrankheiten wie Phytophthora, Mehltau oder auch Raupenfraß frühzeitig zu erkennen. An dieser Stelle werden die Kompetenzen des Fraunhofer IGD wichtig: Durch die Auswertung von

Spektralbildern können Schadbilder frühzeitig erkannt und Pflanzenschutzmittel gezielt eingesetzt werden.

Nichts kommt weg: Digitalisierung gegen Verschwendung

Sind die Erdbeeren reif, werden sie von einem taktilen Greifer geerntet: Dieser erkennt am mechanischen Widerstand der Erdbeere, wie fest er zudrücken darf, um die empfindlichen Früchte nicht zu beschädigen. »Die Elastomer-Greifertechnik ist bereits

vorhanden, sie wird vom Fraunhofer Lizenznehmer Hohe Tanne GmbH in den Markt gebracht«, sagt Vierbauch. Die Forschenden wollen diesen Ansatz nun weiter optimieren: Sie entwickeln eine Foliensensorik, die nicht nur den Druck auf die Erdbeere misst, sondern künftig zudem Reifegrad- und chemische Sensorik ermöglicht. Auch auf die hohen Lebensmittelabfälle – derzeit landen etwa 45 Prozent von Obst und Gemüse zwischen Ernte und Verzehr auf dem Müll – hat das Team eine Antwort: Nah-Infrarotsensorik und optische Messtechniken klassifizieren die Erdbeeren und sortieren sie bei der Ernte entweder für den

direkten Verkauf oder aber, bei nicht so ansehnlichen Früchten, für die Weiterverarbeitung.

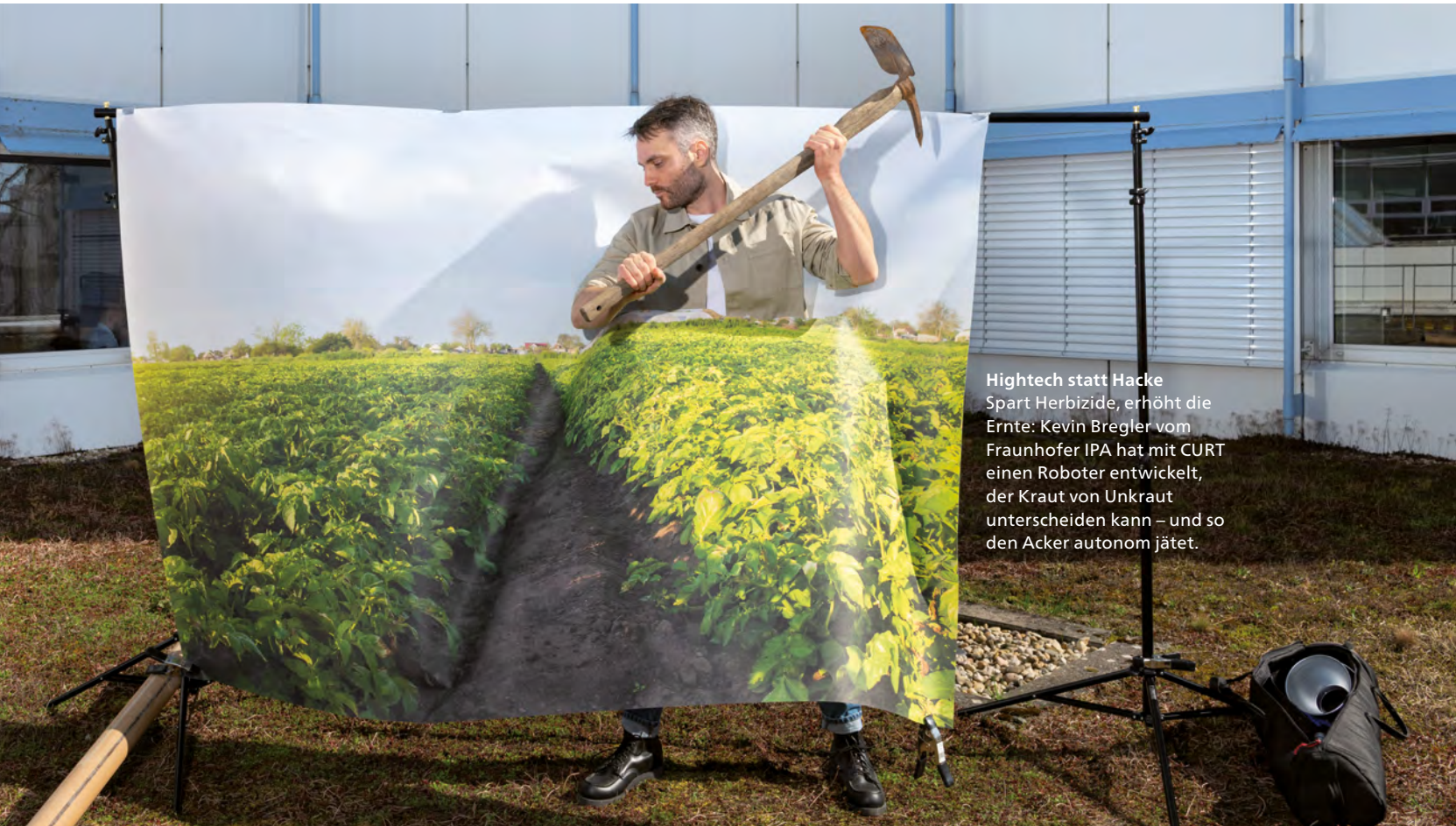
Lebensmittelverschwendung verringern könnten auch essbare Beschichtungen. »Diese beruhen auf natürlichen Substanzen. Werden die Erdbeeren damit besprüht, sorgen die Barriere-Eigenschaften der Schicht dafür, dass die Früchte länger halten«, erläutert Vierbauch. Da eine Avocado andere Anforderungen an die essbaren Beschichtungen hat als eine Erdbeere, passen die Forschenden die Beschichtungen an die Respirationsraten der jeweiligen Frucht an.

Auch in anderer Hinsicht arbeitet das Team an besserer Lebensmittel-Haltbarkeit: So verarbeitet es nicht-optimale Produkte, etwa Erdbeeren mit optischen Mängeln, ernährungsphysiologisch sinnvoll – sprich ohne den Zusatz von viel Zucker. »Eine Möglichkeit dazu liegt in der Trocknung mit Vakuumexpansion. Dazu trocknen wir die Früchte vor und geben sie zur endgültigen Trocknung ins Vakuum, wobei die Früchte aufpoppen: Die Vitamine bleiben besser erhalten, die Farbe der Erdbeeren wird noch intensiver und sie haben – anders als bei über andere Methoden getrockneten Früchte – einen

»Das Besondere: CURT entfernt die Beikräuter selektiv.«

Kevin Bregler,
Fraunhofer IPA





Hightech statt Hacke
Spart Herbizide, erhöht die Ernte: Kevin Bregler vom Fraunhofer IPA hat mit CURT einen Roboter entwickelt, der Kraut von Unkraut unterscheiden kann – und so den Acker autonom jätet.

Crunchy-Effekt«, sagt Vierbauch. Zudem sind sie lange haltbar und nehmen beim Transport weniger Gewicht und Platz ein.

Apropos Transport: Langfristig sollen Gassensoren, die auf Folie kostengünstig produziert, wie Post-It-Zettel angeklebt und drahtlos ausgelesen werden können, selektive Gase, Temperaturen und Feuchte in Lkw, Bahn und Co. überwachen. »Hier stecken wir in der Technologieentwicklung: Es ist nicht nur eine kostengünstige Sensorik nötig, die kaum Energie verbraucht, sondern auch die entsprechende Datenübertragung«, sagt Christian Wald vom Fraunhofer EMFT. »Das Wissen aus den Daten kann entweder in der Cloud und damit in einem zentralen Speicher generiert werden oder on edge im Sensorknoten.« Dann werden die Erdbeeren nicht nur optimal produziert und verarbeitet, sondern gelangen auch unter bestmöglichen Bedingungen zum Verkaufsort.

Im Vorhaben FRESH, gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund

eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, entwickelten Forschende unter der Koordination des Fraunhofer EMFT eine Sensorverpackung zur Frischekontrolle von Fleisch und Fisch. Dazu wurden Fleisch und Fisch in Lagertests auf flüchtige Substanzen untersucht, die sich beim Verderben bilden und als Leitsubstanzen Aussagen über den Frischegrad zulassen. Am intensivsten war die Konzentration von Acetoin und 3-Methylbutanol. Für diese beiden Gase entwickelten die Forschenden entsprechende Sensormaterialien zur Integration in die Verpackung, die ihre Farbe wechseln, sobald das Produkt verdorben ist. Kombiniert mit elektrischen Auswertemethoden soll die schlaue Verpackung ein kontinuierliches Monitoring sowie die Digitalisierung der Food Supply Chain ermöglichen. Auch über miniaturisierte Systeme sollen sich solche flüchtigen Gase künftig nachweisen lassen; entwickelt werden sie von den Fraunhofer-Instituten für Photonische Mikrosysteme IPMS, für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME ►



Regionaler und rentabler
Apfelsaft direkt aus dem Apfel? Das ist auch für Dr. Björn Möller vom Fraunhofer ISI noch nicht möglich. Aber er will Obstbauern zumindest Möglichkeiten erschließen, ihre Produkte mit mehr Wertschöpfung und höherer Haltbarkeit zu vermarkten.

sowie dem Fraunhofer IVV. »Die Basis ist ein Mini-Gaschromatograph, der volatile Substanzen analysiert. Die Ergebnisse können als Indikator für Produktsicherheit dienen und Lebensmittelbetrug aufdecken, etwa bei Olivenöl«, sagt Prof. Mark Bücking, Abteilungsleiter Spurenanalytik und Umweltmonitoring am Fraunhofer IME. Das Gerät soll die Komplexität einer Kaffeemaschine haben und sich somit auch von eingewiesenen Laien bedienen lassen, etwa von einem Mitarbeiter am Werkstor, der für den Wareneingang verantwortlich ist.

Lieferketten kürzen – Regionalität fördern

Wenn Transport der Ware schadet, sollte dieser Part allerdings nicht nur optimiert, sondern idealerweise reduziert werden. Mehr Regionalität macht die Lebensmittelversorgung weniger krisenanfällig als globale Lieferketten, verkleinert den ökologischen Fußabdruck und senkt die Kosten. Doch landwirtschaftliche Produkte regional zu vertreiben, ist gar nicht so einfach. Beispiel Apfelsaftproduktion: Aktuell kann der Bauer seine Äpfel entweder selbst pressen und den nicht lange haltbaren Direktsaft in seinem Hofladen verkaufen.

Oder er gibt seine Äpfel an einen Großhersteller, der die Säfte in Tetrapacks verpackt und über Supermärkte deutschlandweit vertreibt. »Dazwischen gibt es nichts«, erklärt Dr. Björn Moller, Zukunftsforscher am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Diese Lücke wollen die Forschenden des Fraunhofer ISI und zahlreicher europäische Partner im Projekt FOX (»Food processing in a box«) schließen. Der Bauer könnte seinen Apfelsaft in der Box so schonend prozessieren, dass er bei gleicher Qualität länger haltbar ist als frisch gepresster Saft, und ihn in den Supermärkten der Umgebung verkaufen. »Es geht im Projekt einerseits um die Technologieentwicklung – diesen Part haben die Projektpartner übernommen – und andererseits um die Entwicklung der Local Food Value Chain«, sagt Projektleiter Moller. Also auf gut Deutsch darum, die Wertschöpfung vom Farmer bis zum Konsumenten regional und damit nachhaltiger zu halten, ohne dabei allein auf Hofläden

»Während die Herstellung von Lebensmitteln nur 10 Prozent der Umweltbelastung ausmacht, lag der Einfluss von Logistik und Handel bei 10 von 16 untersuchten Kategorien bei 75 Prozent oder gar darüber.«

Dr. Björn Moller,
Fraunhofer ISI



zu setzen. »Während die Herstellung von Lebensmitteln nur 10 Prozent der Umweltbelastung ausmacht, lag der Einfluss von Logistik und Handel bei 10 von 16 untersuchten Kategorien wie Klimawandel oder Landnutzung bei 75 Prozent oder gar darüber«, betont Moller. Es sei darum elementar, die Wertschöpfungsketten regional zu halten. Und das nicht nur bei Apfelsaft, sondern auch bei der energieaufwendigen Trocknung von Beeren und Pilzen, beim Sortieren von Obststücken samt ökologischer

Verpackung sowie der Verwendung von Seitenströmen in der Lebensmittelproduktion, etwa Tomatenschalen für eine Tomatensuppe.

Neue Wege gehen: Die Produktion smart gestalten

»Immer mehr Böden sind degradiert und somit nicht mehr so produktiv wie früher«, konstatiert Prof. Stefan Schillberg, Leiter des Fraunhofer IME. »Hinzu kommen Bodenerosion und Klimawandel. Und: Die Pestizide und Düngemittel, die auf dem Feld ausgebracht werden, lassen sich vielfach nicht mehr wiedergewinnen.« Als Alternative bietet sich das sogenannte Vertical Farming an. Dabei wird das Gemüse unter Dach in Regalsystemen ange-

baut. Die Vorteile: Diese Gemüsezucht ist unabhängig von Anbauflächen, klimatischen Bedingungen und Jahreszeiten, auch werden Rohstoffe geschont. »Im Vertical Farming verbrauchen wir nur fünf Prozent des Wassers – im Idealfall geht das Wasser lediglich über die Produkte raus, etwa den geernteten Salatkopf. Auch ist nur 50 Prozent des Düngers nötig. Und auf Pestizide kann man gänzlich verzichten«, erläutert Schillberg. Allerdings liegen die Kosten für die Indoor-Zucht deutlich höher als beim Anbau auf dem Feld.

Wie sich dies ändern lässt, untersuchen Forschende des Fraunhofer IME im Projekt In4food, Teil des Innovationsraums New Food Systems. Dieses vereint mehr als 50 Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft; mit dabei sind auch die Fraunhofer-Institute IVV und IME sowie das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. »Wir widmen uns unter anderem Parakresse: Sie produziert den natürlichen ►

Wirkstoff Spilanthol, der unter anderem in der Kosmetikindustrie eingesetzt wird«, erläutert Schillberg. Ein Fokus liegt auf dem ökonomischen Ansatz: Wie teuer wäre die Produktion der Parakresse über Vertical-Farming-Ansätze? Die höhere Resilienz des Vertical-Farmings wird nur dann in der Praxis umgesetzt werden und eine Grundversorgung in Krisenzeiten sichern können, wenn sie sich in einem ähnlichen Kostenniveau bewegt wie der konventionelle Anbau.

Deutlich wird dies beim Berliner Unternehmen Veganz, das Erbsenprotein zu Fleischersatzprodukten verarbeitet. In den vergangenen Monaten ist der Preis für die Hülsenfrüchte in die Höhe geschossen. Würde das Unternehmen die Erbsen via Vertical Farming selbst produzieren, könnte es seine Resilienz stark erhöhen. Das Resultat wären nicht nur kürzere Lieferwege – schließlich könnten die Erbsen in einer Halle direkt neben der Produktion angebaut werden –, sondern auch die Unabhängigkeit von globalen Lieferketten samt den damit verbundenen Preisschwankungen. Mit im Paket enthalten ist auch die Resilienz gegenüber sommerlicher Dürre, Starkregen oder winterlichem Schneetreiben.

»Am Ende werden wir ein sehr gutes Verständnis davon haben, wie viele Erbsenpflanzen pro Quadratmeter kultivierbar sind und wie viel das kostet.«

Andreas Reimann,
Fraunhofer IME



Doch ist diese Alternative ökonomisch interessant? Ob und unter welchen Bedingungen dies der Fall ist, untersuchen die Forschenden des Fraunhofer IME gemeinsam mit Veganz. Als Anlage für den Anbau soll das vom Fraunhofer IME entwickelte System namens OrbiPlant® dienen: Dabei wachsen die Erbsenpflanzen auf einem 1,20 Meter breiten und 25 Meter langen Förderband, das in mehreren Auf- und Abs mäanderförmig verläuft und sich in regelmäßigen Zeitabständen ein Stückchen vorwärtsbewegt. Die Wurzeln hängen ins Innere der Hügel, also unterhalb des Förderbands – wo sie mit einem feinen Nährstoffnebel und Sauerstoff aus der Luft gut ►



Wachsen und wundern

Die kleine Erbse wächst bei Andreas Reimann vom Fraunhofer IME in der Forschungsanlage über sich hinaus. So gezogen hat sie das Potenzial, Produkte unabhängiger zu machen von Klimaeinflüssen, globalen Lieferketten und Preisschwankungen.



versorgt werden, was die Pflanzen besonders schnell wachsen lässt. Auch der sogenannte gravitrope Effekt sorgt für schnelles Gedeihen: Durch das gewundene Förderband müssen sich die Pflanzen immer wieder neu im Gravitationsfeld ausrichten, was Hormone fürs Wachstum freisetzt. Am vorderen Ende der Schlangenbahn sind lediglich ein paar Blätter ausgebildet, doch am Ende wuchern die Pflanzen in voller Pracht, über und über behängt mit Erbsenschoten. Bis auf das Pflanzen und Ernten läuft in der Forschungsanlage bereits alles vollautomatisch.

»Während Salate und Kräuter schnell hochwachsen, braucht die Erbse etwa zwei Monate für die Kultivierung«, erzählt Andreas Reimann, Forscher am Fraunhofer IME Aachen. »Zudem können die Erbsenpflanzen im Freiland recht groß werden – wir müssen das Wachstum über Düngemittel, Licht und andere Faktoren so steuern, dass die Pflanze kleiner und kompakter wächst, aber dennoch viele Erbsen pro Volumen produziert.« Die Versuche dazu, wie dies am besten gelingen kann, sollen im Laufe dieses Jahres abgeschlossen sein. »Am Ende werden wir ein sehr gutes Verständnis davon haben, wie viele Erbsenpflanzen pro Quadratmeter kultivierbar sind und wie viel das kostet«, prognostiziert er.

**Mehr vom Guten:
Qualität sichert Quantität**

Die Resilienz einer Wertschöpfungskette ist immer auch eine Qualitätsfrage. Es geht nicht allein darum, dass die Lebensmittel nach einem Störfall im Produktionsbetrieb möglichst schnell wieder vom Band laufen, sondern auch, dass ihre Qualität stimmt und ihr Verzehr für den Verbraucher sicher ist. Besteht auch nur der leiseste Zweifel daran, dass die Lebensmittel die Sicherheitsanforderungen nicht erfüllen, dürfen sie nicht ausgeliefert werden. Und fehlen somit in der Versorgung.

Im Innovationsprojekt »Resiliente Systeme für sichere Lebensmittel«, kurz ReSearchL, detektieren die drei Fraunhofer-Institute IVV und IME sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT deshalb Schwachstellen in der Versorgung und entwickeln Lösungsszenarien. »Gefragt ist ein umfassendes Resilienzmanagement:

Klare Kommunikationsstrukturen und klare Abläufe bei einem Störereignis«, sagt Dr. Marc Mauermann, stellvertretender Leiter des Institutsteils Verarbeitungstechnik am Fraunhofer IVV. An ausgewählten Wertschöpfungsketten untersuchen die Forschenden den Status quo der

Resilienz in der Lebensmittelproduktion in Deutschland. Beispiel Ölmühlen: Hier ist es um die Resilienz schlecht bestellt, denn Pflanzenöle werden in Mitteleuropa in großen Ölmühlen fast ausschließlich aus Raps oder Sonnenblumen gewonnen. Rohstoffdiversität sucht man also vergebens, was die Ölproduktion sehr anfällig macht gegenüber Störungen wie Ernteaussfällen.

Die Forschenden haben mit ReSearchL untersucht, welche Strategien in der Prozesskette greifen, damit solche Störungen möglichst geringe Auswirkungen haben. Dafür spielte das Team verschiedene Stör-

szenarien für Ölmühlen durch und erarbeitete Handlungsempfehlungen für eine resilientere Produktion – in Abhängigkeit von der Dauer des Ausfalls. Fällt die Mühle beispielsweise nur bis zu 24 Stunden aus, sollte einfach die Schälung der Ölsaaten gestoppt werden. Die Saat kann dann ungeschält wieder dem Rohstoff untergemischt werden. Zwar hat der Presskuchen dann eine niedrigere Qualität, aber das ist noch in einem akzeptablen Rahmen.

Bei längerfristigen Lieferschwierigkeiten hingegen liegt die Lösung in einem modularen Aufbau der Ölmöhlen. Mit diesem können sie bei Lieferschwierigkeiten von Raps und Sonnenblumenkernen innerhalb weniger Tage auf andere Ölsaaten umschwenken und müssen nicht – wie derzeit üblich – komplett stillstehen. Regionale Lieferketten, welche die globalen ergänzen, können auch bei diesem Beispiel die Resilienz die Produktion deutlich steigern.

**Alternative Proteine:
Anders besser essen**

Zu einer resilienten Versorgung mit Lebensmitteln zählt auch die Sicherstellung ausreichend großer Protein-Mengen für eine gesunde Ernährung. Fleisch als tierische Proteinquelle ist allerdings alles andere als nachhaltig. Woher könnten ökologisch sinnvollere, resilient erzeug-

»Die ersten Nahrungsmittel sind bereits hergestellt, Lebensmittel mit Proteinen aus Mikroalgen. Granola aus Weizengras. Und Cracker aus Insektenproteinen.«

Prof. Stefan Schillberg,
Fraunhofer IME



bare Proteine für die menschliche Ernährung stammen? Aus Pflanzen, Algen, Insekten und Pilzen – das meinen Forschende des Fraunhofer-Leitprojekts »Future Proteins«. Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU sowie das Fraunhofer IME, IVV, IGB und UMSICHT. »Wir nutzen dazu vier Indoor-Systeme, bei denen die Institute bereits Expertise aufbauen konnten und die sich dementsprechend zügig in höhere Technologiereifegrade überführen lassen: das Vertical Farming von Pflanzen, das Insekten-Farming, Bioreaktoren für Pilze und Photobioreaktoren für Algen«, erklärt Stefan Schillberg vom Fraunhofer IME.

Die Beleuchtung? Gesammeltes Sonnenlicht!

Beim Vertical Farming steht vor allem eine effiziente Beleuchtung auf der Agenda – schließlich liegt hier der Hauptkostentreiber des Ansatzes. Über Kollektoren soll Sonnenlicht gesammelt werden, das über Lichtfasern und verspiegelte Röhren zu den Pflanzen gelenkt wird, während die Hitze draußen bleibt. Für die Proteinproduktion züchten die Forschenden unter anderem spezielle Kartoffeln, bei denen sie durch Mutationen das leicht toxische Solanin entfernen: Auf diese Weise ließen sich die Proteine, die beim Kochen zerstört würden, aus der rohen, nun ungiftigen Kartoffel isolieren. Auch bei der Kultivierung von Mikroalgen in Photobioreaktoren ist Licht das A und O. Optimal versorgt haben sie einen

Proteingehalt von bis zu 50 Prozent. Nichts für Vegetarier und Veganer, aber dennoch eine wertvolle Rohstoffquelle sind Mehlwürmer, die mittlerweile als Nahrungsmittel zugelassen sind. Damit die Zucht nicht von Krankheitserregern gestört wird, sollen neuartige Nachweissysteme störende Pathogene bei Würmern frühzeitig erkennen; Biochips könnten künftig parallele Screenings erlauben.

Pilze als die vierte Säule

Die vierte Säule des Projekts besteht in der Kultivierung von Pilzen. Allerdings geht es hier nicht um die Fruchtkörper, die seit Jahrtausenden auf den Tellern landen, sondern um den sehr viel größeren Teil der Pilze, der im Boden wächst. Welche Pilze eignen sich hierfür? Um diese Frage zu beantworten, untersuchte das Team verschiedene Arten hinsichtlich Wachstum und Proteingehalt. Um die Produktion der neuartigen Pilz-Proteine zudem möglichst nachhaltig und wettbewerbsfähig zu halten, etablierten die Forschenden Kreisläufe: Sie verwenden die Abwärme eines Systems zum Temperieren eines anderen, nutzen Insektenkot oder tote Insekten als Dünger und nehmen Restströme wie Kartoffelschalen als Basis für Nährmedien. Auch die Prozessierung der Proteine haben sie im Blick, ebenso wie die Sensorik, Textur und den Proteingehalt neuartiger Produkte. »Die ersten Nahrungsmittel sind bereits hergestellt«, freut sich Schillberg. »Lebensmittel mit Proteinen aus Mikroalgen. Granola aus Weizengras. Und Cracker aus Insektenproteinen.« ■

Der Schritt zum Schnitt

Fotograf Sven Döring machte sich mit eigens produzierten Plakaten auf die Reise durch Deutschland. Gezielte Schnitte ermöglichten den Fraunhofer-Forschenden, die virtuelle und die reale Welt für die Fotografie zu verbinden.



Eine kleine Geschichte der Künstlichen Intelligenz

2020

Das Unternehmen OpenAI veröffentlicht das Sprachmodell GPT-3. Auf Basis riesiger Datenmengen und mit enormem Einsatz von Entwicklerressourcen, Geld und Rechenkapazität geschaffen, erreicht GPT-3 eine bis dahin unerreichte Leistung.



2016

Googles AlphaGo schlägt den weltbesten Go-Spieler Lee Sedol in vier von fünf Partien – wegen der großen Komplexität des ostasiatischen Spiels eine Sensation.

2011

Die Künstliche Intelligenz Watson von IBM besiegt zwei Champions der beliebten amerikanischen TV-Quizshow »Jeopardy«. Der neue Erfolgsfaktor: Watson entwickelt Strategien, um die in natürlicher Sprache gestellten Aufgaben, die häufig mit Wortspielen durchsetzt sind, sinnvoll zu interpretieren.



1997

Der IBM-Rechner Deep Blue bezwingt den Schachweltmeister Garri Kasparow. Das spektakuläre Event bringt die KI-Forschung weltweit ins Scheinwerferlicht. Deep Blue verdankt seinen Sieg jedoch keiner kognitiven Intelligenz, sondern purer Rechenpower – er rechnet alle denkbaren Züge durch.

1956

An der Universität von Dartmouth (USA) kommen die führenden Informationstheoretiker zu einem Workshop zusammen. Das Ziel: intelligente Maschinen zu entwickeln. Der Begriff »Künstliche Intelligenz« fällt zum ersten Mal.

1957

Die KI-Forscher Allen Newell und Herbert A. Simon programmieren den sogenannten General Problem Solver (GPS). Dabei orientieren sie sich an menschlichem Problemlöseverhalten. Der GPS kann einfache Rätselaufgaben lösen.



1972

Die KI-Forschung baut sogenannte Expertensysteme. Das bekannteste ist MYCIN, das die Diagnose von Blutinfektionen unterstützt. Bei Vergleichsuntersuchungen erweist sich MYCIN als ähnlich leistungsfähig wie medizinische Expertinnen und Experten. KI wird einer breiteren Öffentlichkeit bekannt.

1986

Der britische Informatiker und Psychologe Geoffrey Hinton trainiert 1986 erstmals ein neuronales Netz mit dem »Backpropagation-Verfahren«. Es erlaubt bei Fehlern, nötige Anpassungen zu berechnen und zeigt beeindruckende Leistungen.

KI-Kunst geschaffen von Midjourney, einer Art ChatGPT für Bilder. Gefüttert haben wir die KI mit den Begriffen Vertrauenswürdigkeit, europäische Werte und Kultur, KI-Foundation-Modelle, technologische Souveränität, Datenschutz und Vielfalt.



KI – und wo bleibt Europa?

Größer, leistungsstärker, vielseitiger: Die amerikanischen Tech-Giganten befinden sich im harten Wettstreit um die Vorherrschaft bei Künstlicher Intelligenz, auch China investiert Milliarden. Europa braucht seinen eigenen Weg, noch ist es nicht zu spät.

Von Dr. Sonja Endres

ChatGPT hat alle überrascht – selbst KI-Expertinnen und -Experten. Der Super-Chatbot kann Aufgaben lösen, für die er nie trainiert wurde, und sogar Witze erklären. Wie er das macht, weiß im Detail niemand. Trainiert wurde er nur darauf, in seiner Antwort das wahrscheinlich nächstfolgende Wort zu finden. ChatGPT hat neue Eigenschaften selbstständig ausgebildet. »Emergenz« nennen das die Fachleute – ein Charakteristikum der neuen, großen KI-Modelle, die auf bis zu 100-mal mehr Trainingsdaten basieren wie ihre bereits leistungsstarken Vorgänger. 1997 besiegte Deep Blue den damaligen Schach-Großmeister Garri Kasparow, 2011 schlug Watson zwei Champions der in den USA beliebten Quizshow »Jeopardy«, 2016 bezwang AlphaGo den weltbesten Go-Spieler – alles Leistungen, die weltweit für viel Aufmerksamkeit sorgten; nichts im Vergleich mit der Künstlichen Intelligenz der nächsten Generation.

Mit der Veröffentlichung des Sprachmodells GPT-3 durch die US-amerikanische Firma OpenAI im Sommer 2020, auf dem auch ChatGPT beruht, begann eine neue Zeitrechnung. Während anfangs nur ausgewählte Personen Zugriff auf GPT-3 hatten, ist seine Weiterentwicklung ChatGPT seit wenigen Monaten für alle kostenlos im Internet verfügbar. Warum der leistungsstarke Bot immer wieder neue Überraschungen liefert, erklärt Dr. Gerhard Paaß, Mathematiker und Senior Scientist am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS: »Diese großen KI-Modelle, von denen GPT zurzeit sicher das bekannteste ist, können nicht nur Sprache verstehen, Texte zusammenfassen oder übersetzen. Sie sind auf riesigen Mengen allgemeiner Daten trainiert und können leicht an verschiedenste Aufgaben angepasst werden.« »Homogenisierung« nennen Experten dieses Phänomen. Ein aufgabenspezifisches Training ist nicht mehr notwendig, die Modelle reagieren auf Anweisungen und fungieren als Grundlage für vielfältige Anwendungen, weshalb sie auch Grundlagen- oder Foundation-Modelle genannt werden.

ChatGPT kann programmieren wie ein professioneller Entwickler, zielgerichtet Informationen aus medizi-

nischen Fachtexten zusammenstellen oder Jura-Examensprüfungen bestehen. Foundation-Modelle sind zudem multimodal, das heißt, sie können verschiedene Medien verarbeiten, neben Text auch Sprache, Bilder und Videos. Um die Entwicklung schnell voranzutreiben, investierte Microsoft weitere Milliarden Dollar in OpenAI, sodass das Unternehmen inzwischen mit einem noch größeren Modell, GPT-4, nachlegen konnte. Technische Details wurden bisher nicht publiziert, aber eine Vielzahl von Testergebnissen lässt vermuten, dass es Fakten noch viel zuverlässiger reproduziert als GPT-3. Auch Meta und Google arbeiten mit Hochdruck an eigenen Modellen. 73 Prozent der großen KI-Modelle werden zurzeit in den USA entwickelt, 15 Prozent in China – in Europa bisher weniger als zwei Prozent, darunter Luminous vom deutschen Startup Aleph Alpha.

Sprache prägt die KI entscheidend

Das soll sich bald ändern, wenn es nach den Autorinnen und Autoren der LEAM-Machbarkeitsstudie geht, die im Januar der Öffentlichkeit präsentiert wurde. Sie wurde vom Fraunhofer IAIS gemeinsam mit weiteren Forschungsinstitutionen, Wirtschaftsverbänden und Unternehmen erstellt und beschreibt, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um bei der Entwicklung von KI-Grundlagen- und -Sprachmodellen in Deutschland konkurrenzfähig zu bleiben. Gefördert wurde die Studie vom Bundeswirtschaftsministerium. »Es ist immens wichtig, dass man die KI mit europäischen Sprachen trainiert«, betont Paaß, der an der Studie mitgewirkt hat. Sprache präge das Modell entscheidend, weil sie die Kultur mit all ihren Eigenarten, Normen und Werten repräsentiere. »Nur drei Prozent der Trainingsdaten von GPT-3 waren deutsch. Das bedeutet, dass zum Beispiel detaillierte Fakten aus der deutschen Geschichte, Geographie, Technik usw. oder unsere Normen in Bezug auf Datenschutz in dem Modell stark unterrepräsentiert sind und daher kaum berücksichtigt werden. Das Wissen und damit natürlich auch die Antworten von GPT-3 sind im Englischen sehr viel besser als im Deutschen«, erklärt er. ►

Die Expertinnen und Experten der LEAM-Studie sind sich einig, dass die Auswirkungen der großen KI-Modelle auf Wirtschaft und Gesellschaft erheblich sein werden. Für sie sind die aktuell populären Sprachmodelle nur der erste Schritt. In den nächsten Jahren werden, so prognostizieren sie, noch weitaus leistungsfähigere und auf noch vielfältigeren Daten trainierte Modelle den Markt revolutionieren. Um technologisch unabhängig zu bleiben und wirtschaftlich wettbewerbsfähig, führe kein Weg an einem eigenen europäischen Modell vorbei. Dabei setzt die LEAM-Initiative auf ein Open-Source-Modell, damit die Wirtschaft problemlos damit experimentieren kann. Doch gibt es überhaupt noch eine Chance, zu den davonpreschenden amerikanischen Tech-Giganten aufzuschließen?

Die Entwicklung der Foundation-Modelle kostet Milliarden: Man braucht eine 380 Millionen Euro teure Supercomputer-Infrastruktur, schätzen die LEAM-Autorinnen und -Autoren, die bisher in Deutschland noch nicht für ausführliche Experimente mit den Modellen verfügbar ist. Ein Trainingslauf eines großen Modells erfordert zudem etwa so viel Energie, wie 30 Einpersonenhaushalte im Jahr verbrauchen. Benötigt werden außerdem zahlreiche hochspezialisierte Entwicklerinnen und Entwickler, die mit dieser Art von KI vertraut sind. In den Wettbewerb um das größte Modell solle man daher eher nicht einsteigen und lieber differenziert vorgehen, glaubt Sven Giesselbach, Teamleiter Natural Language Understanding am Fraunhofer IAIS. Vor allem in Sachen Qualität könne man punkten: »Wir haben am Fraunhofer IAIS Kriterien und Maßnahmen für die Gestaltung einer vertrauenswürdigen, sicheren KI entwickelt, die sich auch für ein großes europäisches Modell adaptieren ließen.« Eine vertrauenswürdige KI muss sechs grundlegenden Anforderungsbereichen, sogenannten Dimensionen, gerecht werden: Fairness, Zuverlässigkeit, Autonomie und Kontrolle, Transparenz, Sicherheit, Datenschutz. Wie das umgesetzt und kontrolliert werden kann, darüber gibt der »KI-Prüfkatalog« des Fraunhofer IAIS Auskunft – ein strukturierter, konkreter Leitfaden für Entwicklerinnen und Entwickler, der kontinuierlich von Dr. Maximilian Poretschkin, Leiter KI-Absicherung und -Zertifizierung, und seinem Team fortentwickelt wird.

Bereits die erste Dimension, die Fairness, ist in der Umsetzung anspruchsvoll: Eine vertrauenswürdige KI

darf niemanden wegen seiner Hautfarbe, seines Geschlechts, seiner Herkunft, seiner Religionszugehörigkeit etc. diskriminieren. Doch die Trainingsdatensätze beinhalten, häufig auch versteckt, gesellschaftliche Vorurteile, die die KI lernt. »Schon wenn eine bestimmte Minderheit in einem Datensatz unterrepräsentiert ist, kann das Diskriminierung zur Folge haben. Dann habe ich weniger Beispieldaten für das Training und die KI funktioniert gegebenenfalls für diese Minderheit weniger gut«, erklärt Poretschkin. Bei der Auswahl der Daten müsse daher sehr sorgfältig vorgegangen werden. Manchmal müssen Daten gezielt entfernt oder hinzugefügt werden,

um sicherzustellen, dass eine Minderheit angemessen repräsentiert ist. Der Datensatz muss also unter Umständen gegenüber der Realität vorsichtig verzerrt werden, um das Modell insgesamt zu verbessern.

Von zentraler Bedeutung für die Vertrauenswürdigkeit der KI ist zudem ihre Zuverlässigkeit, die durch systematisches Testen sichergestellt werden soll. Eine Herausforderung: KI lässt sich nicht wie herkömmliche Software in Module zerlegen, die einzeln überprüft werden können. »Man muss immer die Gesamtfunktionalität testen, was technisch anspruchsvoll ist«, gibt Poretschkin zu bedenken. Das gilt auch für ein weiteres Qualitätskriterium vertrauenswürdiger KI: Autonomie und Kontrolle. Eingriffsmöglichkeiten oder eine permanente Überwachung der Anwendung sollen sicherstellen, dass der Mensch immer Herr des Verfahrens bleibt.

Auch Transparenz schafft Vertrauen. In dieser Dimension versuchen die Forscherinnen und Forscher, die Entscheidungsprozesse innerhalb der KI offenzulegen. Trotz der Komplexität gibt es Methoden, Erklärungen zu bekommen. Poretschkin: »Es ist schwierig nachzuvollziehen. Aber: Es ist keinesfalls zufällig, wie große neuronale Netze einen Ausgabertext erzeugen.«

Methoden zur Absicherung greifen ineinander

Die Dimension Sicherheit zielt vor allem auf Risiken durch Fehlfunktionen, Manipulationen, externe Angriffe oder Unfälle. Um solche Gefahren zu minimieren, sieht der Leitfaden des Fraunhofer IAIS unter anderem Schutzmaßnahmen gegen Schadprogramme und umfangreiche Tests vor, die bewusst einen Ausfall der KI-Anwendung provozieren. Von besonders großer Bedeutung für die Vertrauenswürdigkeit von KI-Systemen ist zudem der

»Mit einem europäischen Modell können wir uns deutlich von amerikanischen Modellen abheben und uns mit einer qualitativ hochwertigen KI, die ihren Anwendern Sicherheit garantiert, einen Wettbewerbsvorteil verschaffen.«

Dr. Gerhard Paaß, Fraunhofer IAIS

Datenschutz, denn durch die Verknüpfung der umfangreichen Trainingsdatensätze können leicht Rückschlüsse auf sensible oder personenbezogene Daten gezogen werden. Wichtigste Gegenmaßnahme sei, so Poretschkin, Risiken im Vorfeld zu identifizieren, sich Gefahren bewusst zu machen und die Datenschutzstandards einzuhalten. Alle Maßnahmen und Methoden zur Absicherung von KI greifen letzten Endes ineinander und sollten idealerweise bereits bei der Entwicklung beherzigt werden. Dies gelte auch für die neuen Foundation-Modelle – mit der Herausforderung, dass hier alles um einige Dimensionen größer ist.

GPT-3 besteht aus etwa 175 Milliarden Parametern – Dezimalzahlen, die die speziellen Eigenschaften des Modells repräsentieren. Von großen KI-Modellen spricht man ab etwa 20 Milliarden Parametern, weil sie die Fähigkeit haben, zielgenau auf Anfragen zu reagieren. Die Vielfalt der Anwendungen, die damit möglich ist, macht die Risikoanalyse komplex und schwierig. Die Erfüllung der Anforderungen, wie sie im KI-Prüfkatalog formuliert sind, ist dennoch entscheidend für den Einsatz der Künstlichen Intelligenz. Denn welches Unternehmen nutzt schon gerne eine KI, die unkontrollierbar ist oder nicht verlässlich funktioniert? So leistungsstark ChatGPT auch ist, der Chatbot kommt schnell an seine Grenzen. Weiß er etwas nicht, gibt er das nicht zu, sondern »halluziniert«, wie es Fachleute nennen: Er formuliert eine auf den ersten Blick überzeugende Antwort, die jedoch frei erfunden ist. Auch, wenn die Nutzerin oder der Nutzer den Fehler erkennt und den Bot darauf hinweist, zeigt er sich uneinsichtig. Dabei sei das Beharrungsvermögen erstaunlich, wie Sven Giesselbach schmunzelnd erzählt. In der Entwickler-Szene ist es mittlerweile zu einer Art Sport geworden, KI-Modelle auszutricksen und Limitierungen aufzudecken. So liefert etwa Bing-Chat, das ebenfalls auf GPT basiert, skurrile Antworten und erinnert an einen beleidigten Menschen, wenn er Nutzer, die ihn auf Fehler hinweisen, auffordert, sich zu entschuldigen. Bei allem, was die KI generiert, ist die menschliche Kontrolle daher unverzichtbar. Giesselbach sagt: »Als Entwickler würde ich nie meinen Code von ChatGPT schreiben lassen und nicht noch mal drüberschauen.«

Noch ist die Vertrauenswürdigkeit großer KI-Modelle nicht gut genug für sicherheitsrelevante Anwendungen.

Die LEAM-Initiative hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, bei der Entwicklung eines europäischen Modells Risiken von Anfang an systematisch zu erfassen, messbar zu machen und unter Berücksichtigung der verschiedenen Dimensionen der Vertrauenswürdigkeit zu reduzieren. »Mit einem europäischen Modell können wir uns deutlich von amerikanischen Modellen abheben und uns mit einer qualitativ hochwertigen KI, die ihren Anwendern Sicherheit garantiert, einen Wettbewerbsvorteil verschaffen«, ist Paaß überzeugt. Als einen ersten Schritt zur Unterstützung der deutschen Wirtschaft arbeitet das Fraunhofer IAIS gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für

Integrierte Schaltungen IIS und weiteren Partnern in dem Projekt OpenGPT-X bereits an einem KI-Sprachmodell, das bis Ende 2024 europäische Alternativen anbieten soll und vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wird. Dabei werden konkrete Anwendungsfälle für große KI-Sprachmodelle entwickelt – beispielweise in den Bereichen Mobilität, Medien und Versicherungen.

Wie bleibt Deutschland konkurrenzfähig?

Um die Vision eines Modells mit der Leistung von GPT-4 und perspektivisch auch mehr umzusetzen, sei es vor allem notwendig, eine wettbewerbsfähige KI-Recheninfrastruktur zu schaffen und mithilfe eines Teams aus Expertinnen und Experten ein Hochleistungszentrum in Deutschland

aufzubauen und dauerhaft zu betreiben. »An Talenten fehlt es uns nicht«, so Paaß, doch wandere ein Großteil bisher in die USA ab. Giesselbach wirft ein: »Zurzeit erleben wir einen regelrechten Talentansturm auf unser Institut. Immer mehr Entwicklerinnen und Entwicklern ist es wichtig, Modelle zu bauen, die europäische Werte beinhalten, fair, zuverlässig und auch ressourcenfreundlich sind.«

Auch die Wirtschaft ist alarmiert. 80 Prozent der kontaktierten Unternehmen zeigen großes Interesse, in die Entwicklung der Technologie zu investieren. Viele haben erhebliche Vorbehalte, ihre Daten mit amerikanischen Tech-Giganten zu teilen, um deren KI-Angebot nutzen zu können. Giesselbach macht ihnen Hoffnung: »Wir haben die Möglichkeit, in Deutschland eine datenschutzkonforme, sichere Alternative aufzubauen. Es ist noch nicht zu spät. Aber wir müssen intelligent und differenziert vorgehen – und vor allem schnell sein.« ■

»Zurzeit erleben wir einen regelrechten Talentansturm auf unser Institut. Immer mehr Entwicklerinnen und Entwicklern ist es wichtig, Modelle zu bauen, die europäische Werte beinhalten, fair, zuverlässig und auch ressourcenfreundlich sind.«

Sven Giesselbach, Fraunhofer IAIS

Ein Kollege für schwierige Zeiten

Die Corona-Pandemie hat Spuren hinterlassen, besonders in Gastronomie und Hotellerie herrscht Fachkräftemangel. Wie Roboter unterstützen und das Hotel der Zukunft aussehen könnte, beschäftigt das Fraunhofer IGCV und das Fraunhofer IAO.

Von Yvonne Weiß

Langsam nähert sich Felix vom anderen Ende des Ganges, begleitet wird er von einem leisen Surren und Ruckeln. Drei Etagen des Ansbacher Hotels »Das Hürner« mit seinen 97 Zimmern hat er heute bereits gereinigt, in nicht einmal einer Stunde. »Felix ist aus dem Team nicht mehr wegzudenken. Den geben wir nicht mehr her«, schwärmt Ljiljana Sladojevic, Mitarbeiterin im Hotel Hürner. Seit knapp sieben Monaten säubert der Roboter täglich auf fünf Etagen die Teppichböden. Und die menschlichen Kollegen freuen sich: weniger Zeitdruck, weniger Belastung, weniger Stress.

Den ersten Schritt zu einer Automatisierung machte Geschäftsführer Jens Blank gemeinsam mit Shuang Lu und Klaus Fink vom Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV über das Mittelstand-Digitalzentrum Augsburg. Auslöser war die Pandemie und der damit einhergehende Fachkräftemangel, der auch Blank hart getroffen hat. »Damals hab ich mir gedacht, ich muss jetzt dringend was unternehmen«, erinnert sich der Hotelier.

Gemeinsam mit Lu, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Prozessführung und Robotik am Fraunhofer IGCV, und Fink, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung flexible Produktionsautomatisierung, sowie der Firma Kenter GmbH startete Blank



Noch immer fehlt in Gastronomie und Hotellerie Personal.

eine Bedarfsanalyse für das Hotel und erprobte erste Roboter. So identifizierte das Team den Bedarf an weiteren Robotern, die das Fraunhofer IGCV künftig entwickeln möchte.

Lu und Fink arbeiten an Robotersystemen, die »den Menschen nicht substituieren, sondern unterstützen sollen«, wie sie betonen. Auch Geschäftsführer Blank will kein Personal ersetzen – im Gegenteil: »Ich möchte meine Mitarbeitenden halten können, das Berufsfeld soll wieder attraktiver werden.« Besonders gehe es ihm neben der körperlichen Entlastung des Personals um angenehmere Arbeitszeiten: Die Mitarbeitenden müssen nun etwa den Tagungsraum spät nachts nicht mehr reinigen – diese Aufgabe übernimmt Felix.

Das Hotel der Zukunft beschäftigt auch Prof. Vanessa Borkmann vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation IAO. Seit 2008 erarbeitet die Leiterin des Teams Smart Urban Environments und des Verbundprojekts FutureHotel mit ihrem Team Lösungen für die Hotellerie und Gastronomie. In Zusammenarbeit mit der Industrie erforscht sie, wie sich herkömmliche Berufsbilder durch Technologietrends entwickeln, und identifiziert Chancen, die die Digitalisierung für Hotellerie und Gastronomie birgt. Sie bestätigt, was Praktiker Blank erlebt: »Wir müssen diese Berufsfelder durch Technologie attraktiver gestalten. In Zeiten von Fachkräftemangel ist das ein großer Mehrwert.«

Besonders die Gastronomie hat die Corona-Krise stark getroffen, die Auswirkungen sind immer noch spürbar: Laut statistischem Bundesamt fehlten in Bars und Kneipen 2022 im Vergleich zu 2019 noch immer 21 Prozent Personal. Auch in Cafés, Restaurants und Imbissen gab es 9,5 Prozent weniger Beschäftigte als noch 2019. Ein Fünftel weniger Ausbildungsverträge zum Koch oder zur Köchin wurden 2022 im Vergleich zu 2019 abgeschlossen. Technologische Unterstützung wird folglich immer wichtiger werden. Gemeinsam mit ihrem Team erforscht Borkmann das Potenzial, das aus Kombination von menschlichen und maschinellen Fähigkeiten hervorgeht. »Unsere Mission ist es, praxisorientierte Innovation und Forschung für die Branche bereitzustellen.«

Das klassische Hotel wird sich künftig grundlegend verändern, erwartet Borkmann. Eine herkömm-

liche Rezeption, an der ein Mitarbeiter 24/7 Gäste manuell einchecken muss, wird es in ihren Augen etwa nicht mehr geben. Durch digitalisierte Prozesse können Gäste via Zugangscode auf dem Smartphone flexibel und jederzeit Zugang zum Hotelzimmer erhalten; gerade Geschäftsreisende sparen so wertvolle Zeit und können bereits frühmorgens unabhängig auschecken. Mehr Flexibilität kann das auch Mitarbeitenden verschaffen, die ihre Arbeitszeiten freier planen können – gerade in Zeiten von Fachkräftemangel ein entscheidender Pluspunkt.

Borkmanns Vision geht aber noch weiter: »Das Hotel der Zukunft ist ein Ort, der Menschen zusammenbringt, der ihnen eine Heimat auf Zeit gibt. Das muss aber nicht nur für die Übernachtung sein, sondern kann sich auch im virtuellen Raum abspielen.«

Hotels könnten sich also zu einer Art Service-Hub entwickeln, welche neben Übernachtungen gebündelt Leistungen anbieten wie Brunchs, Co-Working-Spaces, Essenslieferung nach Hause oder Kinder- und Haustierbetreuung. Diese Services können neben den Gästen auch Menschen aus der Nachbarschaft in Anspruch nehmen. Im Hotel der Zukunft werden sich laut Borkmann zudem virtuelle und reale Welt vernetzen, Begegnungen werden also nicht nur im physischen Raum stattfinden, sondern bis ins Metaverse reichen.

Und Jens Blank? Gemeinsam mit dem Fraunhofer IGCV plant der Geschäftsführer bereits Forschungsprojekte im Bereich Social Robotics, also mit Robotern, die direkt mit dem Menschen kommunizieren. Auf Zuwinken sollen sich die Roboter etwa nähern und den Gast fragen können, ob der Teller abgeräumt werden soll. Zudem kann sich Blank gut Roboterhilfe in der Küche vorstellen, da auch er zunehmend Schwierigkeiten hat, Personal für die Gastronomie anzuwerben.

Vor allem aber möchte der Hotelier seinem Wunschroboter mit Unterstützung von Lu und Fink näherkommen: Mit unterschiedlichen Aufsätzen sollte dieser flexible Roboter nicht nur Stühle hochstellen und Servicewagen mit Essen schieben, sondern auch Kofferwagen autonom transportieren können. Lange wird es also wohl nicht mehr dauern, bis Felix einen intelligenten Gefährten bekommt. ■

21%
Personal
fehlen in Bars
und Kneipen
2022 im
Vergleich
zu 2019.

Dresden macht Druck:
Auch die Frauenkirche,
Symbol der Elbstadt,
wurde bereits im
Fraunhofer IWS
3D-generiert.



Funktioniert wie gedruckt

Was sichert die Produktion in Zeiten brüchiger globaler Lieferketten? Technische Innovationen entwickeln die additive Fertigung zur interessanten Lösung für viele Industriezweige, um Produkte regional, schnell, günstig und sogar individualisiert herzustellen.

Von Beate Strobel

Der 3D-Druck ist ein Kind der 1980er Jahre: Unter dem Namen »Stereolithographie« meldete der Amerikaner Charles M. Hull das dreidimensionale Drucken 1984 zum Patent an. Ziel war, die Entwicklung und Herstellung von Prototypen zu beschleunigen. Lange wurde die additive Fertigung mit ihren inzwischen vielen unterschiedlichen Verfahren – der 3D-Druck ist nur eines davon – fast ausschließlich genutzt, um Produktideen schnell dreidimensional für erste Leistungstests herzustellen.

Knapp 40 Jahre später ist die Technologie der »Prototyping«-Nische entwachsen. Eine Studie des Beratungsunternehmens McKinsey schreibt dem globalen Markt der additiven Fertigung nun einen Wert von 13,4 Milliarden Euro zu und prognostiziert ihm ein jährliches Wachstumspotenzial von 22 Prozent. Nach einer Umfrage des 3D-Druck-Spezialisten Sculpteo in 86 Ländern setzen 49 Prozent der befragten Unternehmen bereits bei der Großserienherstellung auf 3D-Druck, 18 Prozent sogar bei der Massenproduktion.

»Die Industrie hat inzwischen nicht nur die riesigen Potenziale erkannt, die in der additiven Fertigung liegen, sondern diese zum Teil schon gehoben«, sagt Prof. Christoph Leyens, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS. Das Dresdner Institut koordiniert seit 2013 das Bündnis AGENT-3D – eine strategische Allianz mit mehr als 120 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft (darunter acht Fraunhofer-Institute), die gemeinsam die generativen Verfahren weiterentwickeln und ihnen so den Weg in die industrielle Produktion bahnen. Da der eingetragene

Verein seine Ziele und seinen Zweck mittlerweile erreicht hat, wird nun an einer Neuausrichtung gearbeitet, um den nächsten Schritt zu befeuern: das Etablieren der additiven Fertigung in der Industrie.

»Die additive Fertigung löst bestehende Grenzen nicht auf, erweitert sie aber deutlich.«

Prof. Christoph Leyens,
Institutsleiter Fraunhofer IWS

Das vom Fraunhofer IWS und der TU Dresden gemeinsam betriebene Zentrum für Additive Fertigung (AMCD) zählt europaweit zu den größten Einrichtungen dieser Art. Ob Kunststoff, Metall oder Keramiken: Das Technikum des AMCD beherbergt die Geräte für die wichtigsten additiven Herstellungsverfahren. In einer Vitrine sind wenige Zentimeter große gedruckte Bauteile ausgestellt, daneben wird gerade ein massives, aus Titan gedrucktes Rad mit einem Durchmesser von gut 1,5 Metern für den Versand fertig gemacht. Diese sogenannte optische Bank sei eines der Hauptbauteile eines Weltraum-Teleskops und gehe jetzt zur Nachbehandlung bei der European Space Agency (ESA), erklärt Dr. Elena Lopez, Abteilungsleiterin Additive Fertigung beim Fraunhofer IWS.

»Wenn alles gut läuft, fliegt eine etwa doppelt so große Variante 2028 ins All.«

Von einer neuen industriellen Revolution durch den 3D-Druck sprechen inzwischen viele. Christoph Leyens nennt es allerdings lieber einen Paradigmenwechsel in der Produktion und zeigt auf ein stachelartiges metallisches Bauteil auf dem Schreibtisch. Diese Aerospike-Düse, Teil eines Raketentriebwerks für Microlauncher, wurde am Fraunhofer IWS additiv gefertigt. »Das Design-Prinzip der Düse ist seit den 1960er-Jahren bekannt«, berichtet Diplom-Ingenieur Leyens. »Doch bislang gab es keine Technologie, um es herzustellen.«

Die Besonderheit dieser Düse: Sie besteht aus nur zwei Bauteilen – und aus sehr viel Hohlraum. Dies konventionell aus einem Metallblock zu fräsen, ist unmöglich. Mittels Laser Powder Bed Fusion, einem additiven Fertigungsverfahren, wird ein metallisches Pulver Schicht für Schicht aufgetragen und dort, wo nötig, per Laser aufgeschmolzen. So wächst das Bauteil langsam von unten nach oben; überschüssiges Pulver wird zum Schluss aus den Hohlräumen entfernt. Das spart nicht nur Material, sondern verringert auch das Gewicht – ein entscheidender Faktor für die Raumfahrt. Ein Raketentriebwerk mit Aerospike-Düse verbraucht so bis zu 30 Prozent weniger Treibstoff als herkömmliche Trägerraketen. Auch Luftfahrtunternehmen setzen auf Erleichterung aus dem 3D-Drucker: Das Luftfahrtunternehmen Airbus etwa hat bereits mehr als 2500 Bauteile im Einsatz, die additiv hergestellt werden.

Das Revolutionäre an der additiven Fertigung sei die Tatsache, dass hier Werkstoff und Bauteil zugleich entstehen, erklärt Leyens. In der konventionellen ▶

Produktion hingegen liegt erst der Werkstoff vor und dann wird das Bauteil daraus gefräst. Zugleich ermöglichte der 3D-Druck neue Freiheitsgrade im Aufbau und Design – etwa filigrane Gitterstrukturen. Das erfordert ein neues Denken bei Konstrukteuren. »Die additive Fertigung löst bestehende Grenzen nicht auf, erweitert sie aber deutlich«, formuliert es Leyens.

Die Corona-Pandemie hat der Technologie einen Image-Schub verschafft, da so anfangs dringend benötigte Gesichtsmasken und Beatmungstechnik schnell und vor Ort hergestellt werden konnten. Die Brüchigkeit der Logistik infolge der Pandemie und auch des Krieges in der Ukraine könnte sich ebenfalls als Katalysator herausstellen: Warum nicht mittels additiver Fertigung die benötigten Teile vor Ort und entsprechend der Nachfrage drucken und so nicht nur das Lieferkettenproblem umgehen, sondern außerdem die Abhängigkeit von asiatischen Zulieferern verringern sowie klimabelastende Transporte und Lagerkapazitäten einsparen? Die neue industrielle Hinwendung zum 3D-Druck wird erleichtert durch technologische Weiterentwicklungen, die auch von Fraunhofer-Forschenden vorangetrieben werden.

Sie haben das Potenzial, die additive Fertigung zu einem Game Changer zu machen.

**Erfolgsfaktor Zeit:
Schneller ans Ziel**

Da ist zum einen die Frage der Produktionsgeschwindigkeit: Ein hohes Fertigungstempo senkt die Stückkosten und macht einen Technologie-Wechsel wirtschaftlich attraktiv. Mit einem High-speed-3D-Drucker für Hochleistungskunststoffe liefert das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU hier einen Lösungsansatz: Bei der SEAM-Technologie wird eine Kunststoff-Spritzeinheit mit dem 3D-Drucker verknüpft und die Anlage mit einem beweglichen Tisch versehen, der sich rasend schnell unter der Kunststoff-Spritzdüse hin und her bewegen kann. »Wir können damit pro Sekunde einen Materialstrang von einem Meter Länge fertigen«, erklärt Entwickler Christopher Schlegel, Projektleiter Forschung & Entwicklung beim Fraunhofer IWU. Insgesamt verkürzt sich mit SEAM die Produktionszeit um bis zu 70 Prozent im Vergleich zu konventionellen Anlagen.

Einen anderen Ansatz zur Zeitersparnis verfolgt das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: In dem Forschungsprojekt »Elektronische Funktionsintegration in additiv gefertigte Bauteile« arbeitet das Team um Patrick Springer, Gruppenleiter F&E Additive Fertigung, zusammen mit dem Anlagenhersteller Arburg und dem Sensorhersteller Balluff daran, Sensoren in individualisierter Bauform zu drucken. Das erste in diesem Projekt entwickelte Gerät ist ein Näherungssensor, der beispielsweise unter Fließbänder montiert wird und Objekte erkennt, die auf dem Band liegen. Bislang sind diese Sensoren in Metallzylindern untergebracht, in die das elektronische Innenleben – eine Platine, eine Magnetspule und ein Stecker – eingebaut werden. »Uns ist es erstmals gelungen, mit dem Druckprozess alles in ein flaches Kunststoffgehäuse einzuarbeiten«, sagt Patrick Springer. Für das Stuttgarter Team bestand die Herausforderung darin, neben dem Material für das Gehäuse gezielt elektrische Leiterbahnen mit einzudrucken, über die elektrischen Komponenten kontaktiert werden. Zunächst setzten die Experten eine Silberpaste ein; aktuell wird

Im Technikum des AMCD sind die Geräte für die gängigsten additiven Fertigungsverfahren vorhanden.



Foto: Christoph Wilsnack/Fraunhofer IWU

daran geforscht, wie flexible, leitfähige Kunststoffe (thermoplastische Elastomere) zum Einsatz gebracht werden können.

In einer Fallstudie hat sich die Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT die Türaufhängung eines Sportwagens hinsichtlich der Produktionskosten näher angeschaut. Das Bauteil wurde unter einem »Design to Cost«-Ansatz für die additive Fertigung neu entwickelt und hinsichtlich unterschiedlicher Parameter wie Materialaufwand, Gewicht und Stützstruktur optimiert. Das Ergebnis: Die Fertigungskosten des Gelenkarms für einen in Kleinserie hergestellten Sportwagen konnten dank 3D-Druck im Vergleich zum konventionellen Fräsen um 50 Prozent reduziert werden.

In einer Forschungs Kooperation mit dem australischen RMIT Center for Additive Manufacturing dreht das Fraunhofer IWS mit dem Fraunhofer IAPT außerdem an der Qualitätsschraube: Im Projekt UltraGrain arbeiten sie daran, Bauteile aus dem 3D-Drucker stabiler und damit auch langlebiger zu machen. Mittels Ultraschall soll verhindert werden, dass sich während der additiven Fertigung im Material säulenartige Strukturen bilden, die unter Um-

ständen schlechtere mechanische Leistungen bedingen. Der Einsatz von Ultraschall hingegen forciert gezielt die Bildung feiner, rund geformter Mikrokörner und verleiht so besonders belasteten Teilen des Werkstücks mehr Stabilität. »UltraGrain wird dabei helfen, Additive Manufacturing in eine breite industrielle Anwendung zu bringen«, versichert Fraunhofer IWS-Institutsleiter Christoph Leyens.

Erfolgsfaktor Nachhaltigkeit: Technologie für die Zukunft

Auch wenn der 3D-Druck als energieintensives Produktionsverfahren gilt, sprechen viele Fakten für die Nachhaltigkeit der Technologie: Der Materialverbrauch etwa ist geringer, zudem fällt im Vergleich zu subtraktiven Verfahren in der Regel weniger Abfall an.

Ein klares Plus in der Nachhaltigkeitsrechnung auf Seiten der additiven Fertigung ist die Möglichkeit, verstärkt regional zu produzieren. »Generative Verfahren erfordern eine geringe Personalintensität«, erklärt Christoph Leyens. »Dadurch treten Personalkosten in den Hintergrund, was eine Fertigung in weit entfernten Billig-

»Der globale Markt der additiven Fertigung hat einen Wert von 13,4 Milliarden Euro – Tendenz steigend.«

Dr. Arne Schirp, Fraunhofer WKI

lohnländern weniger attraktiv macht.« Das spart teure, die Umwelt extrem belastende Transporte – und schafft möglicherweise qualifizierte Arbeitsplätze in Europa.

Ob Metall, Kunststoffe oder Keramik: Der 3D-Druck kann mit vielerlei Werkstoffen arbeiten. Die Nachhaltigkeit lässt sich etwa bei Faserverbundwerkstoffen durch einen größeren Anteil an nachwachsenden Rohstoffen steigern. Kunststoffe, die man mit Fasern aus Flachs oder Hanf verstärkt, erreichen allerdings bislang nicht die ▶



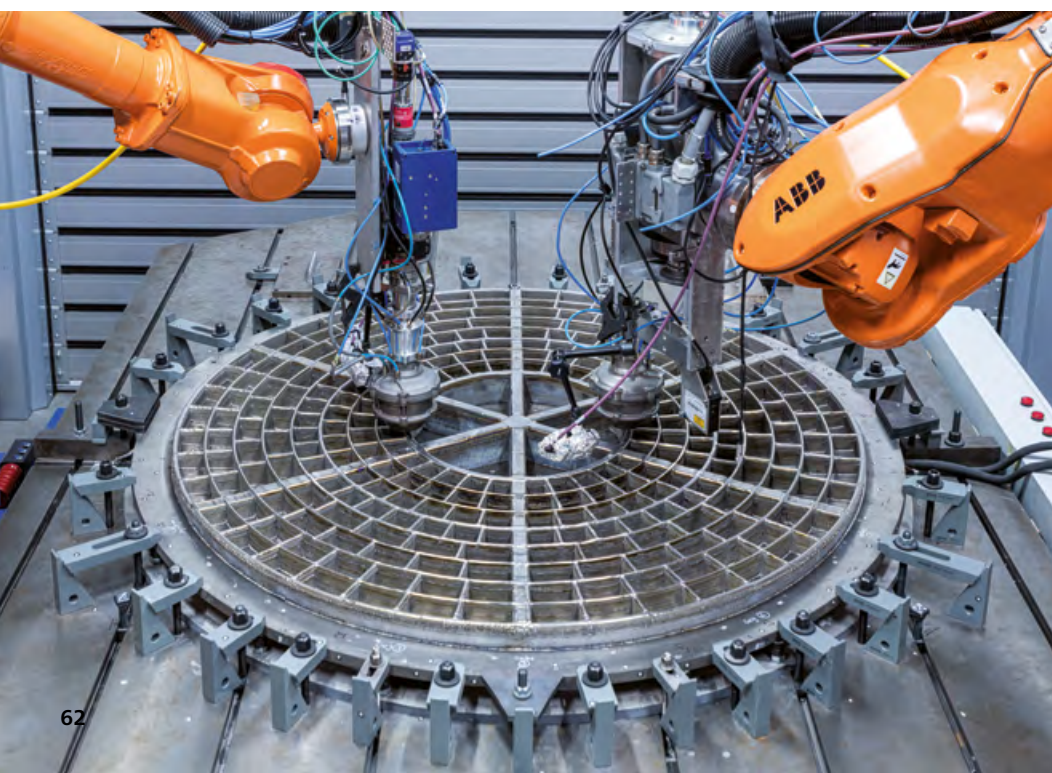
Festigkeit von mit Glasfaser oder Carbonfaser verstärkten Kunststoffen. Dr. Arne Schirp, Experte für Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien am Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, forscht an biobasierten Kunststofffilamenten – Kunststofffäden, die in 3D-Druckern aufgeschmolzen und zu einem Bauteil verklebt werden –, die es mit den klassischen Werkstoffen aufnehmen können. So umhüllt Schirp beispielsweise aus Pflanzen hergestellte Fasern mit Bio-Polymeren zu knapp drei Millimeter dicken Filamenten. Diese könnten mit einem großen 3D-Drucker zu Komponenten für die Baubranche verarbeitet werden. Denkbar sind individuell gefertigte Trennwände für Großraumbüros oder Träger für Deckenkonstruktionen. »Mit dem 3D-Drucker können wir diese so gestalten, dass die besonders belasteten Bereiche stärker und die übrigen schwächer ausgelegt werden«, erläutert Arne Schirp. Das spare Material. Und: Solche leichten Träger aus nachwachsenden Rohstoffen könnten künftig zu einem Teil Beton ersetzen – den weltweit wichtigsten, aber auch extrem klimaschädlichen Baustoff.

Am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK forscht Biotechnologe Linus Aulich im

Rahmen des Projekts BioFusion 4.0 daran, wie sich das Biopolymer Polyhydroxybuttersäure (BHP) mittels geeigneter Additive fit machen lässt für den 3D-Druck. Aulichs wichtigster Mitarbeiter in dieser Mission ist das Bakterium *Ralstonia eutropha*, das in der Lage ist, auf Fetten zu wachsen und dabei PHB zu produzieren: »Wir nutzen beispielsweise Fette aus Schlachtabfällen oder auch altes Frittenfett«, erzählt Aulich.

PHB hat aber nicht nur den Vorteil, dass es aus Abfallprodukten produziert werden kann, sondern auch, dass es – abhängig von Faktoren wie Temperatur oder Feuchtigkeit – binnen eines Jahres biologisch abbaubar ist. Die leichte Kompostierbarkeit macht es interessant für die ökologische Herstellung von Einwegprodukten wie Verpackungen, Einweggeschirr oder auch Mulchfolie für die Landwirtschaft. Aulich sieht in der Kombination aus dem Werkstoff PHB und dem 3D-Druck als Verfahren auch eine Lösung für Produkte in der Medizintechnik, etwa für Orthesen, die zwar individuell angepasst werden müssen, aber auch relativ schnell wieder entsorgt werden. »PHB ist zudem nicht toxisch und wird vom Körper problemlos resorbiert, sodass wir auch über additiv gefertigte Wirkstoffträgerkapseln aus dem Material nachdenken.«

Die USA haben das Potenzial der additiven Verfahren für die industrielle Serienfertigung früh erkannt und sich eine Vorreiterstellung verschafft. Auch China und Japan sind längst wichtige Wettbewerber. Für Prof. Leyens spielt Deutschland im internationalen Vergleich in der ersten Liga, besonders hinsichtlich der Anlagentechnik und der Applikationen. Deutschland sieht Fraunhofer IWS-Leiter Christoph Leyens im internationalen Vergleich derzeit als »Fast Follower«: »Hinsichtlich Anlagentechnik und Applikationen spielen wir zumindest im vorderen Feld mit.« Durch AGENT 3D, dem DRESDEN-concept als wirkungsvoller regionaler Forschungsallianz und der deutsch-polnischen Kooperation ATeM (siehe Kasten) habe sich gerade Dresden zum Innovationstreiber entwickelt. Nun aber sei die Industrie in der Pflicht, die gewonnenen technologischen Errungenschaften in Produktion und Produkte umzusetzen. »Jetzt beginnt der evolutionäre Teil der Revolution«, beschreibt es Leyens: »Erkenntnisse aus der Forschung müssen in der Wirtschaft implementiert werden, damit der Schwung nicht wieder verloren geht.« Und damit Deutschland sich in der ersten Liga an die Tabellenspitze arbeitet. ■



»Erkenntnisse aus der Forschung müssen in der Wirtschaft implementiert werden, damit der Schwung nicht wieder verloren geht.«

Prof. Christoph Leyens

Aus Titan gedruckt: Auch die optische Bank für Weltraumteleskope wurde in Dresden additiv hergestellt.



Lap-on-a-Chip-System aus dem 3D-Drucker.

»Gedruckt wird genau das, was der kranke Mensch braucht – und genau dort, wo er es benötigt.«

Anne-Katrin Leopold,
ATeM-Geschäftsstellenleiterin

Erfolgsfaktor Individualisierung: Maßanfertigung in der Medizin

Die additive Fertigung als Standardverfahren in der Medizintechnik etablieren: Das hat sich das deutsch-polnische Leistungszentrum ATeM (Additive Technology for Medicine and Health) der Fraunhofer-Gesellschaft in Dresden zur Aufgabe gemacht. »Unser Job ähnelt dem, was Transportbänder in Flughäfen für die Passagiere leisten: Wir wollen den Wissenstransfer aus der Forschung in die Industrie und in den Klinikalltag beschleunigen«, erklärt Ingenieurin und ATeM-Geschäftsstellenleiterin Anne-Katrin Leopold.

In der Corona-Pandemie konnte Next3D – eine Arbeitsgruppe des an ATeM beteiligten Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und der Uniklinik Leipzig – zeigen, wozu der 3D-Druck in der Lage ist: Innerhalb von nur einer Woche entwickelten die Forschenden das dreidimensional gedruckte Notfall-Beatmungsgerät The Next3d Airlog 2020, das bei fehlenden Hightech-Beatmungsgeräten zum Einsatz kommen konnte.

Additive Fertigungsverfahren können aber nicht nur Blaulicht-Produktion, sondern befeuern auch einen weiteren Trend: den wachsenden Wunsch der Menschen nach Customization. Erste Sportschuhhersteller fertigen mittels 3D-Druck inzwischen Einlegesohlen entsprechend der individuellen Fußbeschaffenheit und des Gangbildes, Brillengestelle werden passend zur Gesichtsform gedruckt: Losgröße 1 und Serienfertigung zugleich.

In der Medizintechnik spielt die Individuallösung eine entscheidende Rolle, da

das Prinzip »one fits all« hier nur selten zufriedenstellend funktioniert. Zahnkronen, Hörgeräte und Implantate werden mittels additiver Fertigung längst patientenspezifisch hergestellt. Am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD haben die Fachleute um Prof. Philipp Urban über die extrem präzise arbeitende Software Cuttlefish dem 3D-Drucker beigebracht, detailgetreue Augenprothesen aus Kunststoff zu fertigen. Dies beschleunigt die Fertigung des Ersatzauges enorm. Und sollte eine Augenprothese verloren oder kaputtgehen, kann diese binnen kürzester Zeit nachgedruckt werden.

Für eine möglichst risikoarme Biopsie bei Verdacht auf Hirntumor hat Next3D zusammen mit der Abteilung Medizintechnik und dem Kunststoffzentrum Oberlausitz des Fraunhofer IWU die Stereotaxieplattform Leipzig DBS-Unit entwickelt, bei der die gesamte Kopfvorrichtung inklusive Biopsienadel passend zum Patienten angefertigt wird. Die Gefahr, auf dem Weg von der Schädeldecke zum potenziellen Tumor Hirngewebe zu verletzen, ist dadurch deutlich geringer. Für Gefäßchirurgen hat Next3D außerdem die Möglichkeit geschaffen, Stents (Implantate zum Offenhalten von Blutgefäßen am Herzen) bereits vor der OP anhand von 3D-gedruckten, patientengetreuen Gefäßmodellen zuzuschneiden. Die oft mehrstündige OP-Zeit kann sich dadurch um bis zu 90 Minuten verkürzen.

3D-Druck verändert aber nicht nur die Behandlung selbst, sondern auch den Weg dahin: Mittels additiver Fertigung hergestellte Lab-on-a-Chip-Systeme – auch das

ein Forschungsgegenstand am Fraunhofer IWS – ermöglichen bereits eine patientennahe Wirkstofftestung und Labordiagnostik. Angelehnt an Halbleiter-Technologien werden menschliche Zellen so in einem Schaltkreis integriert, dass sie bestimmte Organtypen abbilden können. »Inzwischen ist es sogar möglich, derlei Organsysteme miteinander zu verknüpfen und die Wirkung etwa von Medikamenten ganzheitlicher zu verfolgen«, erklärt Leopold. Bei Wirkstofftests muss dann immer seltener auf Tierversuche zurückgegriffen werden. Zudem ermöglichen die auf Kreditkartengröße geschrumpften Labs die patientenindividuelle Testung von Wirkstoffen.

Eher Zukunftsmusik ist noch die Idee, aus Patientenzellen transplantierbare Organe in Echtgröße additiv herzustellen; »bis zur industriellen Anwendungsreife wird da sicher noch viel Zeit vergehen«, schätzt Anne-Katrin Leopold. Für deutlich schneller realisierbar hält sie die Vision, mittels 3D-Druck bestimmte Prozesse in Kliniken zu optimieren und zu beschleunigen – etwa bei einem Schädeltrauma noch während der Operation den Schädel zu scannen und den zu rekonstruierenden Knochenteil zu drucken sowie zu sterilisieren, sodass dieser sofort implantiert werden kann. Eines gar nicht so fernen Tages werde jede Klinik – analog zur Krankenhausapotheke – ein 3D-Druck-Labor haben, in dem Produkte patientenspezifisch erstellt werden, prognostiziert Leopold: »Gedruckt wird dann genau das, was der kranke Mensch braucht – und genau dort, wo er es benötigt.«



Viel mehr als nur Fassade

Das Potenzial der vertikalen Fläche: Fassaden können mehr sein als nur Wetterschutz und optisches Highlight. In Zeiten des Klimawandels warten neue Aufgaben auf die Gebäudehülle.

Von Beate Strobel

Natur trifft auf Stein und Glas: der Kö-Bogen in Düsseldorf, gestaltet von Star-Architekt Daniel Libeskind. Foto: Ralf Ibing/ picture alliance

Grün im doppelten Sinn: Die PV-Module am Fraunhofer ISE produzieren Solarenergie – und sehen dank Morpho-Color®-Beschichtung auch noch gut aus dabei.



Auf den ersten Blick könnte das dreigeschossige Haus nahe Holzkirchen und in Hörweite der A8 auch ein Bürogebäude sein. Dann fallen die unterschiedlichen Fassadenelemente an dem Gebäude ins Auge: hier bodentiefe Verglasung, da Außenrollo, dort eine innen angebrachte Sonnenblende. Im dritten Stock ist außen an der Fassade zwischen zwei Fenstern ein schwarzes Photovoltaik-Modul befestigt. Wäre das nicht einheitlicher gegangen?

Die scheinbare Unentschiedenheit bei der Außengestaltung hat System. Das Mini-Hochhaus ist kein gewöhnliches Gebäude, sondern die Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen – kurz VERU – des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP in der oberbayerischen Gemeinde Valley. Und die Wandelbarkeit der Gebäudehülle ist eine der wichtigsten Besonderheiten von VERU: Die einzelnen Segmente zwischen der Stahlbetonkonstruktion lassen sich zu Versuchszwecken schnell und einfach austauschen gegen neue Fassadenlösungen, deren Funktion und Effizienz dann im Auftrag der Forschung oder Industrie geprüft werden.

Fassade mit Wirkung – nach innen wie nach außen

Herr des Testhauses ist Herbert Sinnesbichler, Gruppenleiter Evaluierung und Demonstration am Fraunhofer IBP. Als Diplomand zum Fraunhofer IBP gekom-

men, führt der Technische Physiker seit nunmehr fast 20 Jahren mit einem interdisziplinär besetzten Team Versuche an Sonnenschutz- und Gebäudehüllensystemen an der VERU durch. Für Sinnesbichler ist die Fassade weit mehr als eine gestalterische Hülle: »Sie ist die Schnittstelle eines Gebäudes zur Außenwelt und damit von großer Bedeutung sowohl für den Energiebedarf der Immobilie als auch für das Wohlfühlklima innerhalb der Räume.« Wer die Fassade auf ihre ästhetische Funktion reduziere, versichert der Fachmann, unterschätze ihr bauphysikalisches und energetisches Potenzial.

»Die Fassade ist die Schnittstelle eines Gebäudes zur Außenwelt und damit von großer Bedeutung sowohl für den Energiebedarf der Immobilie als auch für das Wohlfühlklima innerhalb der Räume.«

Herbert Sinnesbichler,
Fraunhofer IBP



Wind und Wetter abhalten, Licht einlassen, das Gebäude über alle vier Jahreszeiten hinweg bestmöglich temperieren, idealerweise zusätzlich Energie generieren (Stichwort bauwerkintegrierte Photovoltaik, BIPV) und dabei auch noch gut aussehen: Die Fassade der Zukunft muss eine Alleskönnerin sein.

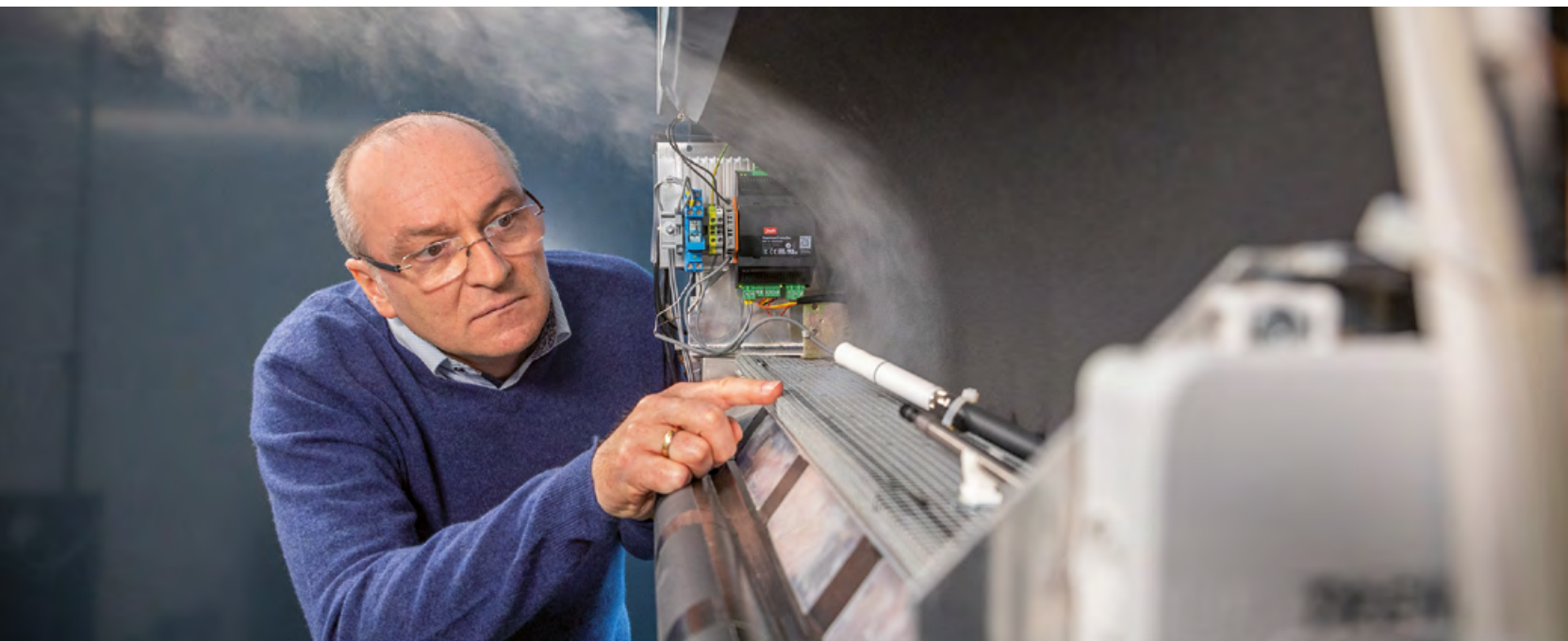
Das Fraunhofer UMSICHT hat der Jobbeschreibung für Fassaden eine weitere Facette gegeben. Seit mehr als acht Jahren arbeiten Forschende dort an vertikalen Begrünungssystemen, durch die Fassaden aktiv zum Stadtklima beitragen können. »Gemeinsam mit Partnerunternehmen haben wir spezielle Elemente entwickelt, die wir für den Bau von bodenungebundenen begrünten Wänden nutzen«, erklärt Holger Wack, stellvertretender Abteilungsleiter Produktentwicklung am Fraunhofer UMSICHT. Vertikale Begrünung mit Gräsern, Blumen, Kräutern oder sogar Nutzpflanzen verbessert die Luftqualität und reduziert CO₂, mindert Lärm und bindet Feinstaub. Sie wirkt aber auch Klimawandel-Phänomenen entgegen wie Starkregen, Hitze, Trockenheit oder dem Verlust von Biodiversität.

Vom Schmetterling inspiriert

Tatsächlich grün werden können die BIPV-Fassadenmodule, die seit wenigen Monaten das Zentrum für Höchsteffiziente Solarzellen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zieren. Das Pilotprojekt soll nicht nur das Institut mit rund elf Megawattstunden Solarstrom pro Jahr versorgen, sondern auch

noch grüne Akzente setzen. Möglich macht das die am Fraunhofer ISE entwickelte MorphoColor®-Beschichtung, die Solarmodulen Farbe verleiht und dennoch mindestens 90 Prozent der Moduleffizienz erhält. Für das Prinzip haben sich die Forschenden von Mutter Natur inspirieren lassen. Der Blaue Morphofalter hat nicht einfach blau pigmentierte Flügel. Der leuchtende Farbeindruck entsteht durch eine Vielzahl hauchdünner, ziegelartig übereinander geschichteter Schuppen. Dank dieser besonderen Brechung des einfallenden Lichts werden lediglich blaue Lichtwellen zurückgeworfen. Auch die Beschichtung der MorphoColor®-Paneele reflektiert nur eine bestimmte Farbe des Lichtspektrums, während das restliche Sonnenlicht ungestört die Schicht durchdringen und energetisch verwendet werden kann.

Die Mischung aus Ästhetik und Funktionalität hat das Potenzial, auch jene zu überzeugen, die noch mit dem Prinzip der BIPV hadern. Gerade bei vielen ohnehin großflächig verglasten Gebäudeflächen ließe sich PV relativ einfach integrieren. Das technische Potenzial der BIPV in Fassaden (Wohn- und Nichtwohngebäuden) in Deutschland schätzt das Fraunhofer ISE auf rund 440 Gigawatt in der Spitze. Damit liegt es nur knapp hinter dem BIPV-Flächenpotenzial von Dächern (560 GWp). Farben können helfen, dieses Potenzial zu heben, Glasfassaden haben allerdings – auch wenn sie Solarenergie liefern – ein Problem: Sie lassen mit dem Licht auch Wärme ein, was zumindest im Sommer zur Herausforderung wird. ►



Zieht's irgendwo? Beim Test der EE-Modulfassade macht Herbert Sinnesbichler vom Fraunhofer IBP mit der Nebelmaschine auch Luftströme sichtbar.

Hier könnte ein PV-Element Abhilfe schaffen, das derzeit noch die Südfront des VERU vom Fraunhofer IBP zielt. Es ist Teil eines Fassadenmoduls zur Gebäudeklimatisierung und wurde vom Fraunhofer IBP und dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kooperation mit Partnern aus der Wirtschaft entwickelt. Über das Photovoltaik-Element wird ausreichend regenerative Energie erzeugt, um den dahinter liegenden Büroraum nicht nur zu lüften, sondern dank einer Kleinstwärmepumpe auch zu heizen oder wahlweise zu kühlen. Eine Alles-inklusive-Lösung also: Die gesamte Heiz-, Kühl- und Lüftungstechnik für den dahinter liegenden Büroraum ist in diesem Fassadenmodul integriert. Benötigt wird lediglich ein Stromanschluss für die Zeiten, in denen die Solarenergie mal nicht ausreicht, um die Komponenten vollständig mit Strom zu versorgen. Da alle wichtigen Bauteile bereits im Modul stecken, lassen sich gerade Bestandsimmobilien damit schnell und kostengünstig energetisch sanieren, sind die Forscherinnen und Forscher überzeugt.

Aber funktioniert die sogenannte Erneuerbare-Energien(EE)-Modulfassade auch so wie gedacht? Fraunhofer IBP-Wissenschaftler Michael Eberl hat die Fassade des VERU-Versuchsraums mit einem Demonstrator und den Raum selbst mit jeder Menge Messtechnik ausgestattet, um die Funktionalität des

Anlagenkonzeptes zu überprüfen sowie die Energieströme und Wohlfühl-Parameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit zu erfassen. Zwei schwarze Metallröhren in der Zimmermitte in Kombination mit Befeuchtern bilden die Wärme- und Feuchteinträge von Büromenschen ab, die eines Tages hinter einer solchen EE-Modulfassade arbeiten werden. Auf diese Art werden über das sogenannte funktionale Mockup das Modul selbst sowie das Zusammenspiel aller Komponenten im Raum getestet und optimiert. Ohne den Testergebnissen vorweggreifen zu wollen: Michael Eberl ist bislang ziemlich zufrieden.

In der Regel laufen solche Versuchsanordnungen mindestens ein Dreivierteljahr, um möglichst alle jahreszeitlichen Veränderungen mitzunehmen. Der VERU-Standort in Valley sei dafür optimal wegen seiner extremen Wetterverhältnisse, betont Sinnesbichler: Ob Sonne, Wind, Regen, Frost und Schnee – alles kommt in der Voralpenlandschaft im Laufe eines Jahres ausreichend vor. Jetzt, im Vorfrühling, hüllen Schnee und Nebel die VERU noch in winterliches Weißgrau, es ist bitterkalt vor dem Versuchsgebäude und auch im Treppenhaus. Im Testraum des Demonstrators selbst hingegen ist es mollig warm – ein weiteres gutes Zeichen.

Bei Großbauprojekten fließen rund 15 bis 25 Prozent der Baukosten in die Fassadengestaltung. Gerade angesichts dieser Größenordnung ist die Vorab-



Wie sich ein Raum mit einer bestimmten Fassadenlösung anfühlt, wie es sich drin sitzt und arbeitet, »muss man einfach sehen und spüren«.

Herbert Sinnesbichler,
Fraunhofer IBP

Probesitzen: Michael Eberl rückt die Sensoren am DressMAN zurecht. Über die Messpuppe wird der thermische Gesamtkomfort im Raum erfasst.

Testung neuer Konstruktionen und Konzepte über funktionale Mockups eine sinnvolle Investition, um eventuelle Schwachstellen frühzeitig zu detektieren und sich dadurch teure Nachbesserungen am fertigen Objekt zu sparen. »Wer sich nur auf das Reißbrett und digitale Simulationen verlässt, nimmt ein hohes Risiko in Kauf«, sagt Diplom-Ingenieur Sinnesbichler. Wobei auch an der VERU im Zusammenhang mit Untersuchungen oftmals Simulationswerkzeuge eingesetzt werden. Die hierzu verwendeten Modelle sind jedoch in der Regel auf Basis von vorab real erhobenen Messwerten überprüft und validiert.

Wie geht's dem Menschen hinter der Fassade?

VERU ist die Haus gewordene Flexibilität: Die Messzellen sind so variabel, dass vom Einzel- über das Großraumbüro bis hin zum Konferenzzimmer unterschiedliche bauliche Realitäten problemlos durchgespielt werden können. Im zweiten Obergeschoss befinden sich außerdem zwei identische Versuchsräume – sogenannte energetische Zwillingräume –, die sogar Vergleichsmessungen ermöglichen. Mitunter werden auch Probanden zu den Tests geladen, um über die objektiven Messdaten hinaus den subjektiven Eindruck des Raumklimas zu erfassen. Doch

das ist in der Regel höchst arbeits- und zeitaufwendig: »Um repräsentative Daten zu erhalten, muss eine wirklich große Menge an Versuchspersonen geladen werden«, erklärt Sinnesbichler.

Lieber setzt das Team vom Fraunhofer IBP deshalb auf den DressMAN: eine lebensgroße Klima-Messpuppe, die von den in blauen Sneakers steckenden Füßen bis hin zur Synthetik-Stirn mit Sensoren ausgerüstet ist. Vorsichtig biegt Michael Eberl die Gliedmaßen des Dummy zurecht, bis der wie ein Mensch am Schreibtisch Platz genommen hat. Alle Messdaten, die der DressMAN – den es natürlich auch in einer weiblichen Ausführung gibt – im Dienst der Forschung liefert, fließen in einen Algorithmus ein, mit dessen Hilfe dann der Wert des thermischen Gesamtkomforts im Raum berechnet wird. Dass der nicht nur beim DressMAN, sondern später auch beim Büromenschen im grünen Bereich liegt, ist für Unternehmen essenziell: Mitarbeitende, die im Job schwitzen, frieren oder über Zugluft klagen, sind weniger leistungsfähig und machen mehr Fehler als solche, die ein gutes Arbeitsklima auch im konkreten Sinn genießen.

Wie sich ein Raum mit einer bestimmten Fassadenlösung anfühlt, wie es sich darin sitzt und arbeitet, »muss man einfach sehen und spüren«, findet Herbert Sinnesbichler. Wäre der DressMAN am Schreibtisch daneben dazu fähig, würde er jetzt vermutlich nicken. ■

Bei Großbauprojekten fließen rund **15 bis 25 Prozent** der Baukosten in die Fassadengestaltung.

Stimme aus der Wirtschaft



Klemens Haselsteiner, 42, seit Jahresbeginn CEO der STRABAG SE mit einem Umsatz von mehr als 16 Milliarden Euro im Jahr 2021.

Wir brauchen die Bauwende. Jetzt!

Der Bausektor steht für rund 38 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen. Entsprechend groß ist die Verantwortung für die gesamte Branche, Wertschöpfungsketten nachhaltiger zu gestalten. Es ist deshalb höchste Zeit, Bauen nicht nur »neu zu denken«, sondern auch »neu zu machen«!

Ein Standpunkt von Klemens Haselsteiner, CEO der STRABAG SE

Was wir bauen, bleibt. Oft für Jahre und Jahrzehnte. Manchmal sogar für immer. Und wir müssen liefern, bei der Infrastruktur ebenso wie beim Wohnen. Denn bezahlbarer, energieeffizienter Wohnraum wird dringend benötigt, vor allem in den Städten. Allein in Deutschland sollen 400 000 neue Wohnungen gebaut werden – pro Jahr. Um das zu schaffen und zugleich die Energiewende umzusetzen, kommen wir nicht um eine Erhöhung der Sanierungsquote im Bestand herum. Derzeit werden jährlich nur rund 500 000 Wohnungen energetisch modernisiert. Bei einem Gesamtbestand von 42,5 Millionen Wohnungen in Deutschland ein Wert von leicht über 1 Prozent. Das ist schlicht und einfach: zu wenig.

Wenn wir an morgen denken, müssen wir deshalb heute Klartext reden: Unsere Klima- und Wohnungsbauziele erreichen wir nur, wenn wir schneller nachhaltiger, das heißt ressourcenschonender und umweltfreundlicher, planen und bauen als bislang. Und dafür brauchen wir ein neues Denken und Handeln. Kein Hätte, Würde, Wenn und Aber. Sondern: Machen!

Entscheidend ist das »Wie«

Als führender Bautechnologiekonzern in Europa wissen wir: Ein »Weiter so« funktioniert nicht. Deshalb haben wir uns das ambitionierte Ziel gesetzt, bis 2040 entlang der Wertschöpfungskette klimaneutral zu werden und gemeinsam mit unseren Partnerinnen und Partnern ökologisch verträgliche, nachhaltige Lösungen für den Bau zu entwickeln. Für uns bedeutet das dreierlei:

Erstens: mutig sein und eine unternehmenseigene Innovationskultur fördern. Dafür haben wir nicht nur unseren Innovation Day und den Stakeholder-Dialog, mit denen wir Zukunftsthemen und Entwicklungen im Konzern vernetzen und den Austausch zwischen Kolleginnen und Kollegen, Kundinnen und Kunden fördern. Auch unser Corporate-Startup-Programm adAstra bietet die Möglichkeit, innovative Ideen zu verwirklichen und als Start-ups auszugründen. Derzeit arbeiten wir in über 250 Innovations- und 400 Nachhaltigkeitsprojekten an der Zukunft des Bauens.

Zweitens: auf Partnersuche gehen. Denn die Bauwende ist keine Aufgabe, die wir allein

»Wenn wir an morgen denken, müssen wir heute Klartext reden. Kein Hätte, Würde, Wenn und Aber. Sondern: Machen!«

Klemens Haselsteiner

- ▶ ist seit 2011 für STRABAG tätig und verantwortet seit Januar 2023 als CEO das Gesamtgeschäft des österreichischen Bautechnologiekonzerns.
- ▶ hat als Chief Digital Officer die Digitalisierung des Unternehmens vertieft und maßgeblich die Nachhaltigkeitsstrategie ausgearbeitet, mit der STRABAG bis zum Jahr 2040 klimaneutral werden möchte.
- ▶ treibt mit seinem Team und 74 000 Kolleginnen und Kollegen mehr als 250 Innovations- und 400 Nachhaltigkeitsprojekte im Unternehmen voran.
- ▶ hat Betriebswirtschaft in Chicago studiert und wurde 2020 in den Konzernvorstand bestellt. Er ist verheiratet und hat drei Kinder.

lösen können. Es braucht die Expertise, das Know-how von außen. Wir arbeiten eng mit Forschungseinrichtungen und Think-Tanks zusammen. Mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg haben wir Photovoltaik-Fassadenelemente erprobt. Integriert in die Gebäudehülle, produzieren sie grünen Strom und ergänzen die Energieerzeugung des Gebäudes. Und mit der Universität Stuttgart erforschen wir eine softwaregestützte Lebenszyklusanalyse für Gebäudesysteme. Mithilfe Künstlicher Intelligenz, IoT-basierter Kommunikation und cloudbasierter Gebäudeleittechnik soll die Ressourceneffizienz über den gesamten Immobilien-Lebenszyklus nachhaltig verbessert werden.

Drittens: die Digitalisierung als Chance wahrnehmen, um Prozesse konsequent zu automatisieren. Noch hinkt der Bausektor bei der Digitalisierung anderen Branchen hinterher. Dabei bieten neue Technologien viele Möglichkeiten, die Bauplanung nachhaltiger zu gestalten. Ein Beispiel: Künstliche Intelligenz. Gebäude und Baustellen lassen sich mithilfe automatisierter Prozesse wie Generative Design schneller, effizienter und ressourcenschonender planen. Planung und Produktion werden enger miteinander verknüpft, Akteure und Daten stärker vernetzt. Optimierungspotenziale bei Materialbedarfen und Emissionen lassen sich so exakt berechnen – und das schon in der Frühphase eines Projekts.

Mehr Tempo, mehr Mut!

Ich bin überzeugt: Der Klimaschutz ist ein Motor für Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit unserer Branche. Damit er weiterläuft, brauchen wir verlässliche politische Rahmenbedingungen. Das heißt: mehr Tempo. Planungs- und Genehmigungsverfahren müssen zügiger abgeschlossen werden. Mehr Kreislauf: Materialkreisläufe müssen gezielt geschlossen werden. Und mehr Mut: Innovationsgeist gilt es zu fördern, nicht zu verhindern. Denn die Beispiele aus unserem Unternehmen und der Zusammenarbeit mit unseren Partnerinnen und Partnern verdeutlichen: Wenn man offen ist, Dinge anders anzugehen, wenn man der eigenen Innovationskraft vertraut und gleichzeitig partnerschaftlich handelt – dann ist die Bauwende möglich! ■



Die Sensoren lassen sich wie eine zweite Haut über das Flugzeug spannen und sammeln während des Flugs wichtige Daten.

So wird der Airbus sensibel

Fliegen ist schön, schnell – und klimaschädlich. Das Fraunhofer IZM arbeitet daran, die Energieeffizienz zu steigern und Flugreisen damit umweltschonender zu machen.

Wie können Flugzeuge künftig energieeffizienter fliegen? Dieser Frage gehen Forschende am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM nach. Eine Möglichkeit: durch leichtere, langlebige Materialien und eine optimierte Aerodynamik.

Um hier Verbesserungen herbeiführen zu können, braucht es exakte Daten über den Verschleiß, die Luftwiderstände und Belastungen während des Flugs. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben im Auftrag von Airbus eine Art Sensorhaut entwickelt, die über die Flügel gespannt wird. Die robusten Sensoren, die zuverlässig Temperatur, Luftdruck, Schwingung und Vibration messen können, werden in die äußere Kunststoffverkleidung des Flugzeugs integriert. Sie müssen nicht nur den extremen Winden, Turbulenzen und Druckunterschieden standhalten, sondern auch unempfindlich sein gegen Chemikalien wie Enteisungsmittel oder Kerosin. Beim Einbau dürfen weder die sensiblen Bauteile noch die Kunststoff-Lackierung aus thermoplastischem Polyurethan (TPU) beschädigt werden.

Im ersten Schritt charakterisierten die Forscherinnen und Forscher den Kunststoff, sodass relevante Parameter wie die temperaturbedingte Ausdehnung oder Elastizität bekannt waren. Diese Erkenntnisse flossen in weitere Simulationen ein, die konkrete Schwachstellen sowie die Le-

bensdauer des TPUs unter mechanischer und thermomechanischer Belastung prognostizierten. Mit den gewonnenen Daten konnten darüber hinaus ideale Prozessparameter wie Temperatur und Druckeinstellungen für die Folienlamination sowie das Lötten der Bauelemente und Komponenten abgeleitet werden.

Biegsam und flexibel

Das Schaltungsmuster für das dehnbare Sensormodul realisierten die Forschenden mithilfe von Lithographie und Ätzprozessen, die standardmäßig in der Leiterplattenherstellung Anwendung finden. Nachdem die Bauelemente bestückt und gelötet wurden, demonstrierte das Team rundum Dr. Stefan Wagner und João Alves Marques zwei Verfahren, mit denen die Bauelemente vor äußeren Einwirkungen geschützt werden: zum einen mit sogenannten Glob Tops, die ebenfalls aus Polyurethan bestehen und mikroelektronische Bauteile als aushärtende Vergussmasse versiegeln, zum anderen die Integration dünner Chips direkt in das Substratinnere mittels Flip-Chip-Montage. Ein klarer Vorteil der ausgewählten Technologien und Materialien: Das TPU bietet als Schaltungsträger mit integrierten Sensormodulen hohe Flexibilität. Das biegsame Substrat kann sich an die Flügel anschmiegen und gleichzeitig die verbauten Elektronik schützen. ■



Kleine Pumpen ganz groß: Dank Agnes Bußmann könnten Mikropumpen schon bald das Leben von vielen Patientinnen und Patienten erleichtern und für neue Innovationen in der Medizin sorgen.

1. Preis: Dr. Agnes Bußmann

Pump it up: Mikropumpen für die Medizin nutzbar machen

Mit fünf mal fünf Millimetern sind sie kleiner als ein Fingernagel. Doch in der Medizin können sie Großes bewirken: Langzeitdosierungen von Krebs- und Schmerz-Medikamenten oder die Insulingabe bei Diabetes ließen sich mit Mikropumpen wesentlich erleichtern, Bioprinting oder Organ-on-a-Chip-Anwendungen vereinfachen. Warum sind sie nicht längst im Einsatz?

Von Mandy Bartel

Dr. Agnes Bußmann ist Maschinenbauerin. Doch ihr Interesse gilt schon lange auch der Medizintechnik. In ihrer Promotion konnte sie am Fraunhofer-Institut für Elektronische Mikrosysteme und Festkörpertechnologien EMFT in München beides verbinden. Ihr Forschungsgegenstand: piezoelektrische Mikropumpen. »Das medizinische Potenzial dieser Mikropumpen ist offensichtlich: Sie sind klein, energieeffizient, präzise und flexibel adaptierbar, sie lassen sich implantieren oder leicht auf die Haut aufbringen und könnten so bei Patientinnen und Patienten für mehr Lebensqualität sorgen«, fasst die junge Forscherin zusammen. So weit, so gut: »Trotzdem ist die Mikropumpe am medizintechnischen Markt bisher nicht etabliert.«

Den Gründen dafür ging Agnes Bußmann nach. Nach umfassender Recherche fand sie zwei wesentliche Hürden für die

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.

Markteinführung: Zum einen wurden die Pumpen bisher vorwiegend mit Wasser oder anderen Ersatzflüssigkeiten getestet, was zwar die Pumpleistung beleuchtete, die Effekte auf die transportierten Flüssigkeiten jedoch ausblendete. Es fehlen also schlichtweg Untersuchungen mit Pharmazeutika oder biologischen Flüssigkeiten, um die Anwendbarkeit für medizinische Produkte nachzuweisen. Zum anderen stellen aufwendige Zulassungsverfahren und die kosten- und zeitintensive Entwicklung häufig eine Hürde dar. Um diese zu umgehen, verändern die Hersteller ihre bestehenden Produkte meist nur geringfügig, statt auf echte Innovationen zu setzen – erzielen damit aber auch nur begrenzte Verbesserungen.

»Daraus ergab sich eine Lücke zwischen Forschung und Anwendung, die ich mit meiner Arbeit schließen wollte«, betont die Wissenschaftlerin. Dafür verknüpfte

»Die Behandlung schwerer Leiden möglich machen oder verbessern zu können, ist die größte Motivation für meine Forschung.«

Dr. Agnes Bußmann

sie Wissen aus den Bereichen Material- und Ingenieurwissenschaft, Elektrotechnik, Physik, Chemie und Medizin. Im Rahmen ihrer Promotion untersuchte sie explizit die Interaktion zwischen Pumpe und Medium und entwickelte existierende stahl- und siliziumbasierte Mikropumpen so weiter, dass Flüssigkeiten, die Zellen oder Proteine enthalten, weder durch den Pumpprozess geschädigt werden noch die Pumpen verkleben. Damit konnte die For-

scherin das theoretische Potenzial der Mikropumpen auch praktisch untermauern.

Sie fand darüber hinaus eine Lösung, um die Entwicklung der kleinen Medizinergäte für Unternehmen wirtschaftlicher zu gestalten. Zusammen mit ihrer Kollegin Dr. Claudia Durasiewicz erdachte sie eine Technologieplattform, auf der sich mehrere mikrofluidische Komponenten flexibel kombinieren und für unterschiedliche medizinische Anwendungen erproben lassen. »Die Idee dahinter war, die initialen Kosten für technische Entwicklung und Zulassung auf mehrere Produkte zu verteilen und den individuellen Aufwand zu reduzieren. So lassen sich die Mikropumpen schneller und effizienter auf den Markt bringen«, erklärt die Forscherin.

Den Transfer treibt Agnes Bußmann heute als Gruppenleiterin bei Fraunhofer weiter voran. »Das Fraunhofer-Konzept mit der engen Industrieanbindung und interdisziplinären Anwendungsorientierung ist dabei von großem Vorteil«, sagt sie. Zusammen mit Industriepartnern sollen die neuen Herstellungsprozesse im Projekt Moore4Medical bald in eine Produktionsumgebung übertragen werden. Dann ist der Weg frei für den praktischen Einsatz von medizinischen Mikropumpen, die in Zukunft vielen Menschen das Leben leichter machen sollen. Neben einer einfacheren Medikamentendosierung eignen sie sich für den Einsatz in hydraulischen Implantaten wie künstlichen Harnschließmuskeln. Optimieren könnten sie zudem bioanalytische Organ-on-a-Chip-Systeme, die als potenzieller Ersatz für Tierversuche immer mehr an Bedeutung gewinnen. Werden die Flüssigkeiten für die Zellkulturen dieser künstlichen Organe bislang noch manuell transportiert, ließe sich dies künftig mit integrierten Mikropumpen automatisieren.

Für ihren wissenschaftlichen Beitrag zur Gesundheit der Zukunft verbunden mit ihrem unternehmerischen Denken ist Agnes Bußmann mit dem ersten Platz des Hugo-Geiger-Preises des Freistaates Bayern und der Fraunhofer-Gesellschaft ausgezeichnet worden. ■



Hier geht's zum Podcast:

Zum zweiten und dritten Preis ▶

2. Preis: Dr. Chiara Lindner

Besser messen mit Quantenlicht

Die Zusammensetzung von Gasen, Chemikalien oder Kunststoffen lässt sich mithilfe sogenannter Fourier-Transform-Infrarotspektrometer analysieren. Erstmals konnte das etablierte Verfahren nun mit Messprinzipien der Quantensensorik kombiniert werden – was gänzlich neue Anwendungen ermöglicht.

Im Optiklabor ist sie in ihrem Element: Für Dr. Chiara Lindner wird hier die abstrakte Quantenwelt konkret greifbar. Dabei konnte die Wissenschaftlerin der Quantenphysik zunächst nicht viel abgewinnen: »Im Studium erschien sie mir oft zu theoretisch, eher etwas sperrig«, erinnert sie sich. Dass sie ausgerechnet in dieser Disziplin promovieren würde, hätte sie bis zu ihrer Arbeit am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg nicht gedacht: Dort forscht sie daran, wie sich Quanteneffekte nutzen lassen, um etablierte Messtechnik wesentlich zu verbessern.

Fourier-Transform-Infrarotspektrometer sind seit Jahrzehnten aus kaum einem analytischen Labor wegzudenken. Anhand der charakteristischen Transmissionsspektren können sie unterschiedliche Moleküle detektieren. In der Umweltanalytik, Pharmazie oder bei Materialprüfungen lässt dies Rückschlüsse auf die Zusammensetzung von Stoffen zu. Das Problem: Bisher sind dafür langsame und teure Infrarotdetektoren nötig. In ihrer Dissertation fand Chiara Lindner einen Weg, solche Messungen zu verbessern – in Qualität, Aufwand und Geschwindigkeit.

Quantentrick macht Unsichtbares sichtbar

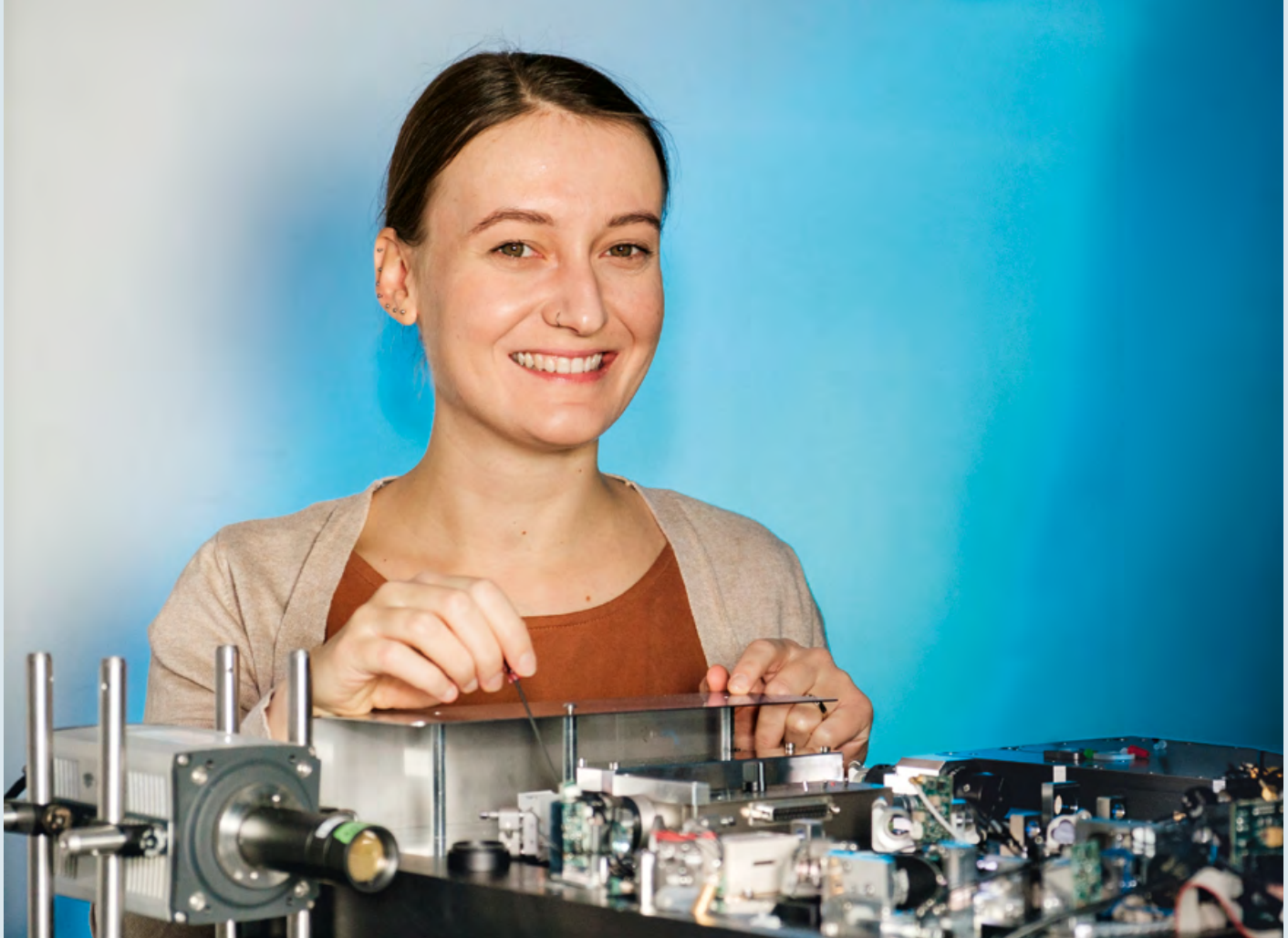
Um die Infrarotdetektoren und damit deren Limitierungen zu umgehen, setzt die Forscherin auf einen Quantenkniiff: Sie nutzt quantenmechanisch verschränk-

»Innerhalb von vier Jahren sind wir von der absoluten Grundlagenforschung sehr nah an die Anwendung gekommen.«

Dr. Chiara Lindner

te Paare aus infraroten und sichtbaren Lichtteilchen, um die spektralen Informationen der Probe zu messen. Dabei dient das eine Photon quasi als Sehhilfe für das andere: Während nur das infrarote Lichtteilchen die Probe »sieht«, wird das sichtbare Partner-Photon mit einem hochempfindlichen Siliziumdetektor erfasst. Weil die verschränkten Quanten aber eng miteinander verbunden sind, beeinflusst das Schicksal der infraroten Photonen auch das Verhalten der sichtbaren. Das heißt: Werden die Infrarot-Lichtteilchen von der Probe absorbiert, so ändert auch das Signal der sichtbaren Photonen seine charakteristische Form. Die Eigenschaften der Probe im Infraroten lassen sich also messen, ohne die infraroten Photonen überhaupt zu detektieren! So können die bisherigen Infrarotdetektoren durch schnellere, günstigere und rauschärmere Siliziumdetektoren ersetzt werden.

Ihren Heureka-Moment hatte die Physikerin sehr früh nach Beginn ihrer Promotionsarbeit, als sie zum ersten Mal mit dem bloßen Auge beobachten konnte, wie die verschränkten Photonenpaare erzeugt werden: Beleuchtet man einen speziellen Kristall mit einem grünen Laserstrahl, werden die verschränkten Photonen als schwach leuchtender roter Kreis auf einem Schirm sichtbar. Einige Monate später konnte sie damit bereits die ersten Transmissionsspektren demonstrieren und später sogar weltweit erstmals die feine spektrale Struktur der Rotationslinien einer gasförmigen Probe mit den »undetektierten Photonen« abbilden. Das neue Verfahren ist besonders



Von den Möglichkeiten der Quantenphysik inspiriert: Chiara Lindner entwickelte das erste Quanten-Fourier-Transform-Spektrometer.

interessant für biologische Proben, die oft sehr lichtempfindlich sind und sich beleuchtet anders verhalten können. Denn: Durch den Quantentrick ist die benötigte Lichtleistung ungefähr eine Million Mal schwächer als bei einer klassischen Messung. Dieses Potenzial will die Forscherin weiter ausbauen: »Perspektivisch wollen wir unser Spektrometer auch mit bildgebenden Verfahren kombinieren und so eine hyperspektrale Bildgebung ermöglichen.«

Für ihre Dissertation erhielt Chiara Lindner den zweiten Platz des Hugo-Geiger-Preises des Bayerischen Wirtschaftsministeriums. Ende 2022 wurde sie bereits

mit dem »Quantum Futur Award« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ausgezeichnet. Und so ist sie im Nachhinein froh, Quantenoptik als ihr Thema gefunden zu haben: »Letztlich durfte ich die Quantentechnologien als ein sehr vielseitiges und spannendes Themenfeld erleben. Gerade in der praktischen Anwendung und beim Ausprobieren im Labor wird Abstraktes auf einmal ganz konkret.« ■

Hier geht's zum Podcast:

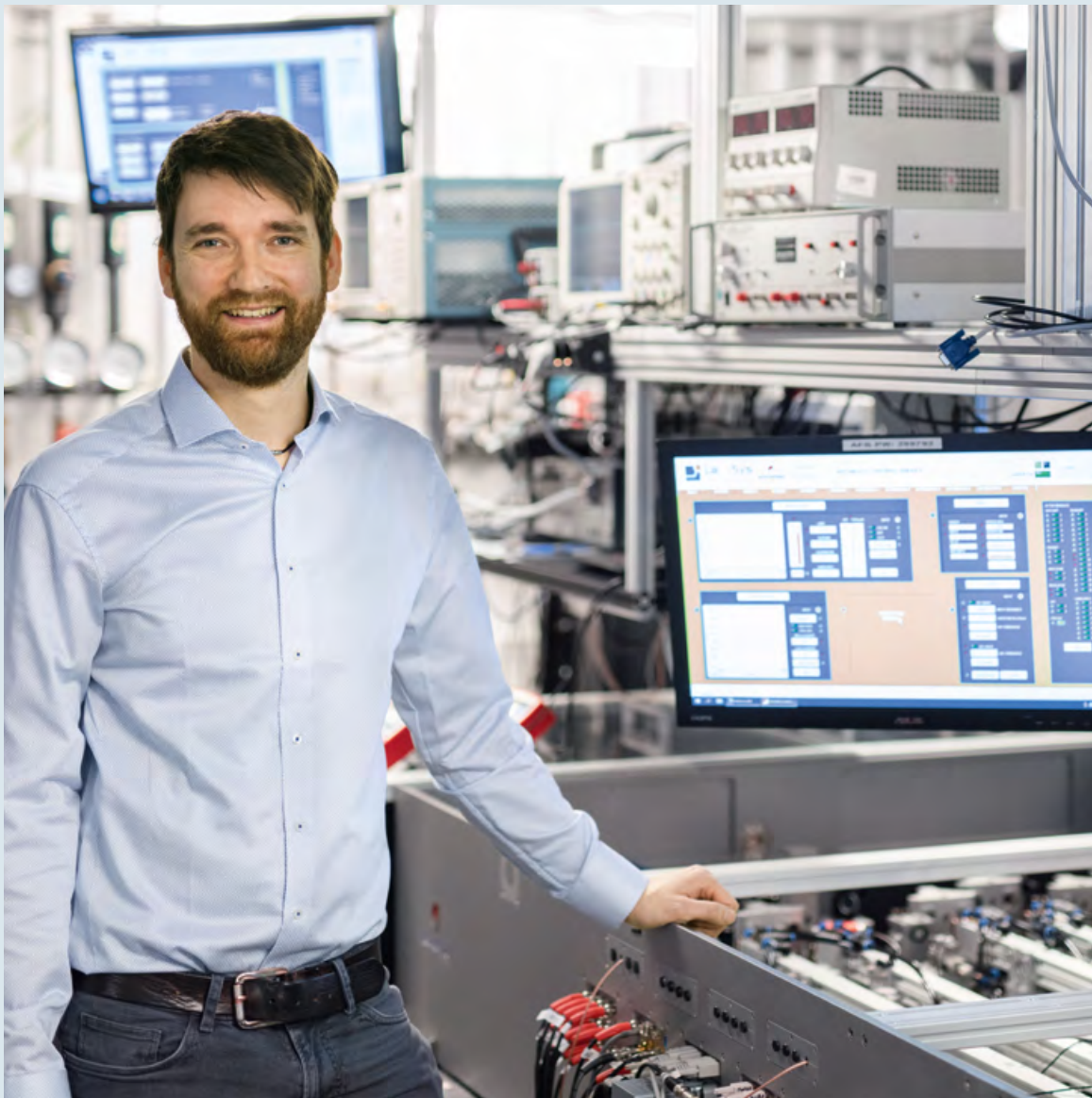


Beleuchtet man einen speziellen Kristall mit einem grünen Laserstrahl, werden die verschränkten Photonen als schwach leuchtender roter Kreis auf einem Schirm sichtbar.

3. Preis: Dr. Robert Klas

Großforschungsanlage auf einem optischen Tisch

Extrem ultraviolette Lichtstrahlung hat viele Vorteile, ist aber nur sehr aufwendig zu erzeugen. Dass man dafür vielleicht in Zukunft keine riesigen, teuren Forschungsanlagen mehr braucht, ist ein Verdienst von Dr. Robert Klas und seiner Arbeit in einem kurzwelligen Forschungsgebiet.



Was sonst riesige Gebäude benötigt, bringt Dr. Robert Klas auf einem optischen Tisch unter. In seiner Promotion entwickelte er die bislang leistungsstärkste laserähnliche EUV-Quelle im Labormaßstab.

Der Weg von der Idee zur Innovation war für Dr. Robert Klas ein steiniger. Viele Versuche scheiterten, Konzepte mussten überarbeitet, Aufbauten angepasst, neue Optiken getestet werden – sechs Jahre lang. »Ich habe mich in meiner Promotion auf komplett neues Gebiet vorgewagt, das bisher niemand betreten hat. Deshalb konnte ich auch nicht auf vorhandenes Wissen aufbauen«, blickt der Physiker zurück. Aber: »Wir haben es vorher so oft durchgerechnet, das musste funktionieren!«

Robert Klas' Forschungsgebiet ist nicht nur extrem fordernd, sondern vor allem extrem ultraviolett: Die sogenannte EUV-Strahlung ist ein sehr kurzwelliger Spektralbereich des Lichts, der an die Röntgenstrahlung grenzt. Ihre kurzen Wellenlängen betragen nur 10 bis 50 Nanometer, ein Nanometer entspricht dabei einem Millionstel Millimeter. Dadurch eignet sich dieses Licht, um ebenso kleine Strukturen zu erzeugen oder auch sichtbar zu machen. So nutzt die Halbleiterindustrie heute EUV-Licht, um mehr als zehn Milliarden Transistoren auf einen fingernagelgroßen Chip aufzubringen. Doch das Potenzial ist noch viel größer. Auch in der Mikroskopie könnte das EUV-Licht perspektivisch sehr kleine Strukturen sichtbar machen, die mit natürlichem Licht nicht zu sehen sind.

Ultraschnelle Laserdynamik

Was die anwendungsnahe Forschung mit EUV-Licht heute noch erschwert: Sie ist bislang nur an Großforschungsanlagen möglich, die teuer und aufwendig in Aufbau und Betrieb sind. Die Warteschlangen für solche Synchrotrone sind lang, und hat man einen Slot ergattert, muss alles klappen, weil die nächste Chance oft wieder auf sich warten lässt. Robert Klas hat im Rahmen seiner Promotion in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Optische Feinmechanik IOF in Jena

einen effizienteren Weg gefunden: »Der kompakte Versuchsaufbau unserer laserähnlichen EUV-Quelle kostet den Bruchteil einer solchen Großforschungsanlage, passt auf einen normalen optischen Tisch und ist wesentlich einfacher zu bedienen.«

Um das EUV-Licht zu erzeugen, nutzt der Physiker moderne Hochleistungs-Ultrakurzpuls-laser, deren Pulse er noch mal frequenzverdoppelt und komprimiert. Mit diesen extrem kurzen Lichtpulsen von

»Die Ergebnisse meiner Doktorarbeit können die Entwicklung in vielen wichtigen Bereichen vorantreiben – in der Energie- und Speichereffizienz von Chips, in der Biologie und in der Medizin.«

Dr. Robert Klas

zehn Femtosekunden – eine Femtosekunde entspricht dabei dem milliardsten Teil einer Millisekunde – beschleunigt er Elektronen. Diese emittieren durch die Rekombination mit ihrem Mutter-Ion dann die EUV-Strahlung. Die große Herausforderung dabei ist, die freigesetzte Strahlung kohärent zu überlagern, also so zu kontrollieren, dass sich ihre Wellenberge im extremen Ultraviolett-Spektrum addieren. Nach vielen Versuchen gelang es Robert Klas, die bislang leistungsstärkste laserähnliche EUV-Quelle im Labormaßstab zu entwickeln – mit hundertmal mehr Leistung als bislang verfügbar.

Das sichtbare Spektrum erweitern

Mehr Leistung bedeutet: schneller messen. So werden Messprozesse in Echtzeit möglich, die bisher eine Stunde und länger dauerten. Relevant ist das vor allem für die Mikroskopie. »EUV-Mikroskope darf man sich nicht wie ein klassisches Mikroskop vorstellen«, sagt Klas. »Wir nutzen das Streulicht einer Probe, das Rückschlüsse auf deren Aussehen zulässt, und können daraus mithilfe digitaler Optik das genaue Bild der Probe in Farbe errechnen.« Auf diese Weise lassen sich Bakterien oder Viren darstellen. »Irgendwann wollen wir mit diesem Verfahren auch DNA mit etwa zwei Nanometern Durchmesser abbilden können«, schaut Klas in die Zukunft.

Bis es so weit ist, bietet die EUV-Lithografie in der Chipherstellung ein schneller umzusetzendes Anwendungsfeld: Um die winzigen dreidimensionalen Strukturen auf einen Wafer zu übertragen, braucht es Masken, die vervielfältigt abgebildet werden. Die Quelle von Robert Klas erlaubt es, diese Masken schon vor dem Lithografie-Prozess auf Defekte zu kontrollieren – und zwar bei der gleichen Wellenlänge, mit der auch der Chip später beschrieben wird. Auch in der Materialbearbeitung ließen sich die kurzen Wellenlängen nutzen, um zum Beispiel Löcher von wenigen Nanometern zu bohren.

Das Durchhaltevermögen hat sich für Robert Klas gelohnt: Für seine herausragende Promotion erhielt der Forscher den dritten Platz des Hugo-Geiger-Preises des Freistaats Bayern und der Fraunhofer-Gesellschaft. Und auch die praktische Verwertung seiner Forschungsergebnisse durch das zur Trumpf-Gruppe gehörende Fraunhofer-Spin-off Active Fiber Systems GmbH in Jena ist bereits gesichert. ■

Hier geht's zum Podcast:





Foto & Fraunhofer

Meer-Energie

Die Kraft von Wellen wird spürbar, wenn sie ein-drucksvoll gegen Kaimauern donnern oder selbst schwere Tanker in die Bredouille bringen. Theoretisch bergen die Wogen der Weltmeere ausreichend Energie, um den globalen Strombedarf zu stillen, schätzt das World Economic Forum. Doch wie lässt sich diese Naturgewalt ernten?

An Wellenkraftwerken wird seit gut einem Jahrzehnt geforscht; erste kleinere Hafenanlagen – etwa in Israel und Spanien – haben bereits den Betrieb aufgenommen. Auf dem offenen Meer allerdings, wo Platz und der Seegang stark ist, sind Wellenkraftanlagen bislang nicht über das Prototypen-Stadium hinausgekommen: zu teuer, zu wartungsanfällig. Und angesichts der Kosten eine zu geringe Stromernte.

Jetzt aber wagen Forschung und Industrie einen neuen Anlauf: Das Projekt WEDUSEA („Wave Energy Demonstration at Utility Scale to Enable Arrays“) soll das Potenzial einer netzgekoppelten Wellenenergieanlage mit einer elektrischen Leistung von einem Megawatt im Atlantik oberhalb der schottischen Nordküste demonstrieren. WEDUSEA ist ein Konsortialprojekt von 14 industriellen und wissenschaftlichen Partnern aus Großbritannien, Irland, Frankreich, Spanien und Deutschland, darunter auch das Fraunhofer-Institut für

Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE. »In WEDUSEA sind wir hauptsächlich mit der Auslegung des elektrischen Antriebsstranges und später mit der Optimierung der Anlagenregelung be-treut«, erläutert Fabian Thalemann, Projektleiter beim Fraunhofer IEE.

Die Projektleitung hat die irische Firma Ocean Energy inne, die mit dem OE35 die weltweit leistungsstärkste schwimmende Wellenenergieanlage entwickelt hat. Die im Meer verankerte Anlage besteht – vereinfacht ausgedrückt – aus einem Hohlkörper mit Öffnungen unter- und oberhalb der Wasserlinie. Hereinschwappende Wellen drücken die Luft im Hohlkörper durch die Luken oberhalb der Oberfläche hinaus und saugen neue Luft an, sobald die Wellen sich wieder zurückziehen. Ob in die eine oder in die andere Richtung: Durch den Luftstrom wird eine Turbine zur Stromerzeugung angetrieben; der Strom kann über Kabel an Land transportiert oder zum Betrieb von Off-shore-Anlagen genutzt werden.

Angelegt bis 2026, soll WEDUSEA mithilfe des OE35 die Wellenenergie-Technologie hinsichtlich Effizienz, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit auf das nächste Level heben. Und damit die Kraft der Wellen endlich in großem Umfang nutzbar machen.

Grüner Strom aus dem Tank

Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung auszubauen, sind Energiespeicher von zentraler Bedeutung. Redox-Flow-Batterien bieten große Speicherkapazitäten bei niedrigen Kosten. Dennoch ist ihr Marktanteil bislang überschaubar. Das könnte sich bald ändern.

Von Michael Krapp

Die weltweit größte Redox-Flow-Batterie ist im Januar im Nordosten Chinas in der Hafenstadt Dalian in Betrieb gegangen. Sie hat eine Leistung von 100 Megawatt und kann 400 Megawattstunden Energie aus einem großen Windpark speichern. Bei einem durchschnittlichen Jahresstromverbrauch von 4000 Kilowattstunden ließen sich mit der Batterie 100 Haushalte für ein Jahr mit Strom versorgen. Doch meistens kommt die Technologie zum Einsatz, um das Stromnetz für mehrere Stunden zu stabilisieren. Auch in Deutschland und Europa werden neue Batteriesysteme akut in der Energiekrise und dauerhaft zur Energiewende dringend benötigt.

Redox-Flow-Batterien vereinen zahlreiche Vorteile. Dazu gehören die leichte Skalierbarkeit, der Wirkungsgrad von mehr als 75 Prozent, eine äußerst geringe Selbstentladung durch die Aufbewahrung der Elektrolyten in zwei getrennten Tanks sowie deren Recyclingfähigkeit und lange Lebensdauer. Aufgrund ihrer wässrigen Elektrolytflüssigkeiten sind sie außerdem nicht brennbar. »Stationäre Energiespeicher mit Lithium-Ionen-Technik sind im wahrsten Sinne des Wortes brandgefährlich«, sagt Chemieingenieur Noack vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfingztal bei Karlsruhe.

Trotz ihrer vielen Pluspunkte ist der Marktanteil von Flussbatterien bislang überschaubar. Der Grund dafür lag in den hohen Kosten chemischer Batteriesysteme.

Die Levelized Costs of Storage (LCOS) sind für den Chemieingenieur Noack maßgeblich für die Investitionsentscheidung von Firmen in eine Flussbatterie. Unter LCOS versteht man die durchschnittlichen Kosten der entladenen Elektrizität unter Berücksichtigung aller Aufwände, die für die Installation sowie den Betrieb des Energiespeichersystems während seiner Lebensdauer anfallen. Hinsichtlich der LCOS sind Flussbatterien gegenüber ihren Konkurrenten, den Lithium-Ionen-Batterien, bei großen stationären Energiespeichern inzwischen im Vorteil. Die auf flüssigen Elektrolyten basierenden Batteriesysteme haben bei ordnungsgemäßer Wartung eine Lebensdauer von bis zu 20 Jahren, lassen sich bis in den Gigawattstundenbereich skalieren und sind sehr sicher im Betrieb. Dagegen sind Lithium-Ionen-Batteriespeicher auf rund 3000 Ladezyklen begrenzt und bieten Kapazitäten nur im Megawattstundenbereich. Hinzu kommt die problematische Beschaffung von Rohstoffen für die Batterien.

Für Flussbatterien schien Vanadium bislang der ideale Rohstoff zu sein. Doch die Hersteller von Vanadium-Redox-Flow-Batterien haben mit Preisschwankungen

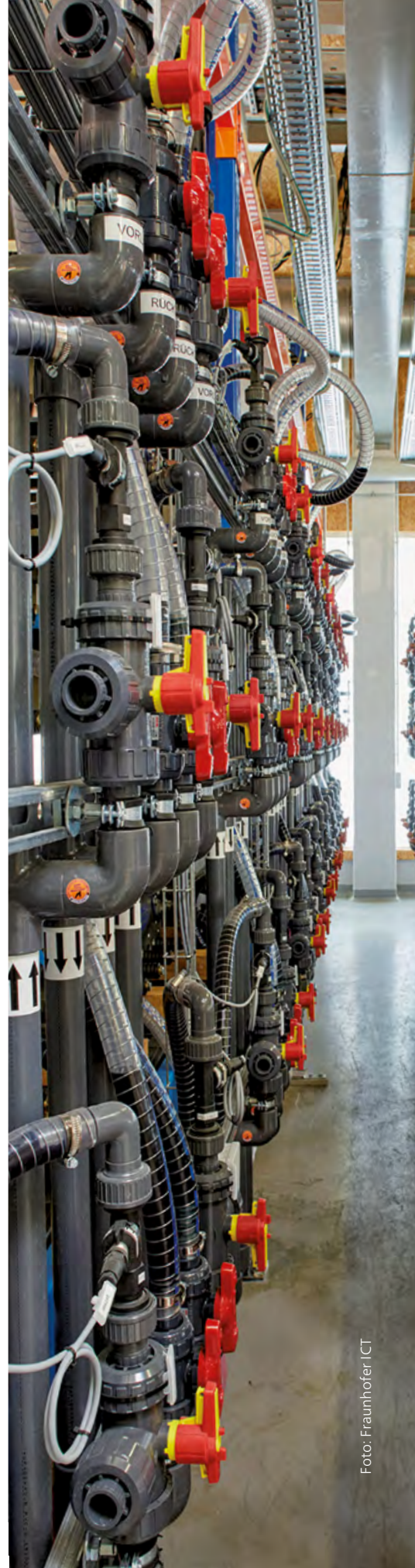


Foto: Fraunhofer ICT



Ein umfangreiches Geflecht aus Rohrleitungen gehört zur Redox-Flow-Batterie am Fraunhofer ICT. Sie hat eine Kapazität von 20 Megawattstunden.

auf dem Weltmarkt zu kämpfen. Rund 75 Prozent des globalen Vanadium-Angebots stammen zudem aus China, Südafrika und Russland. Die Europäische Kommission stuft Vanadium daher als kritischen Rohstoff ein. Um bei der Entwicklung künftiger Batteriesysteme in keine neuen Abhängigkeiten zu geraten, ist die Auswahl günstiger, verfügbarer und ethisch unbedenklicher Rohstoffe daher ein Schlüsselthema.

»In der Forschung zu Flussbatterien hat ein weltweiter Wettlauf um die Suche nach neuen Elektrolytmaterialien begonnen«, berichtet Noack. Europa strebe im Wettbewerb eine führende Position an. Um dieses Ziel zu erreichen, soll das von ihm koordinierte Projekt SONAR einen Beitrag leisten. Dabei geht es um die simulationsgestützte Suche nach innovativen elektroaktiven Materialien für organische Flussbatterien sowie deren Design und Betrieb. Die Europäische Kommission fördert das Forschungsvorhaben mit 2,4 Millionen Euro.

»Um im Wettbewerb zu bestehen, muss man die Kosten bis zur Markteinführung eines neuen Batteriesystems senken und die Entwicklungszeit verkürzen«, ist Dr. Jan Hamaekers überzeugt. Er leitet am Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI in Sankt Augustin bei Bonn die Abteilung »Virtual Material Design«. Im Projekt SONAR ist er für die industrielle Verwertung der Ergebnisse verantwortlich. Um herauszufinden, welche Materialien sich als Alternativen zum Vanadium eignen, sind Modellierungen auf verschiedenen Stufen notwendig. »Wir kombinieren unterschiedliche Simulationsmethoden auf verschiedenen physikalischen Skalen – von der quantenmechanischen Ebene bis zum sichtbaren, makroskopischen Verhalten«, erläutert Hamaekers.

Die Simulationsläufe, die auf Hochleistungsrechnern der Projektpartner ausgeführt werden, erzeugen eine enorme, stetig wachsende Menge an Ergebnisdaten. Um sie zu analysieren, kommen ebenfalls am Institut entwickelte Verfahren des Maschinellen Lernens zum Einsatz.

»Die automatisierte Suche liefert als Ergebnisse auch Stoffe, die es noch gar nicht gibt«, berichtet Hamaekers Kollegin Dr. Astrid Maaß. Mit der Frage, ob diese Stoffe, wenngleich sie theoretisch ideal als Elektrolyte für eine Flussbatterie geeignet wären, tatsächlich auch für die Praxis taugen, beschäftigen sich Noack und sein Team vom Fraunhofer ICT. Sie prüfen die Eignung der berechneten Stoffe experimentell im Labor.

»Unser Projekt läuft noch bis Ende des Jahres 2023. Bis dahin können wir der Industrie verschiedene Services zum Screening neuer Aktivmaterialien anbieten«, sagt Hamaekers. Dazu sollen auch Simulationswerkzeuge gehören, mit denen sich Vorgänge in den Zellen der Batterie sowie Kosten- und Nutzenaspekte bestimmter Anlagen bereits in der Planungsphase erfassen lassen. »Ein wichtiger Vorteil für europäische Unternehmen, denn die Zeit von der Entwicklung neuer Flussbatterien bis zur Vermarktung des einsatzbereiten Stromspeichers lässt sich so erheblich verkürzen«, ist er überzeugt. Dazu arbeiten die akademischen Projektpartner, zu denen, außer den Fraunhofer-Instituten ICT und SCAI, die Technical University of Denmark, das Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides (LRCS) an der Université de Picardie Jules Verne in Amiens, die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, das Karlsruher Institut für Technologie und die University of New South Wales in Sydney gehören, mit renommierten Industriepartnern zusammen. »Die Erfahrungen der Firmen sind für unsere Forschungsarbeit besonders wertvoll«, betont der Experte für den computergestützten Entwurf neuer Materialien.

Anfang Februar präsentierte Projektkoordinator Noack auf einer Konferenz für Materialforschung in Rotorua, Neuseeland, erste Forschungsergebnisse. Das Interesse war groß. Im Wettlauf um die besten Flussbatteriesysteme hat sich das Tempo gesteigert. Kann Europa mithalten? Noack ist optimistisch, die Anstrengungen müssten aber verstärkt werden: »In China und den USA werden erheblich mehr öffentliche Gelder in die Forschung zu neuen Batteriespeichern investiert.« ■



ÖSTERREICH

Verurteilt vom Avatar

Gerichtsverhandlungen per Videokonferenz sind in großflächigen Staaten wie Australien oder Kanada, wo Online-Termine lange Anreisen überflüssig machen, längst normal. Auch in Europa sollen sie bald zum Alltag gehören. Zum Wegbereiter könnte eine neue Software werden, an der Forscherinnen und Forscher von Fraunhofer Austria arbeiten. Kernelement der Entwicklung ist die Übertragung von Augenbewegung und Mimik der Nutzerinnen und Nutzer auf ihre Stellvertreter-Avatare im virtuellen Gerichtssaal. Die Datenerfassung erfolgt über eine Webcam, sodass keine technische VR-Ausrüstung wie Brillen oder Gesichtsmasken notwendig ist. Sobald das System die Blickrichtung des Nutzers am Bildschirm erfasst, wird sie in eine Kopfbewegung des Avatars umgesetzt und so ein Blickkontakt simuliert. Ebenfalls übertragen werden Gesichtsausdruck und Mundbewegungen. Die Synchronisation der Tracking-Daten wird derzeit programmiert. Kombiniert wird die Erkennungssoftware mit den Rollenspezifikationen der Avatare, die in enger Zusammenarbeit mit internationalen Juristinnen und Juristen entwickelt werden. Der Prototyp des Virtual-Court-Settings, der sich an länderspezifische Anforderungen anpassen lässt, wurde bereits erfolgreich getestet.



Der Hammer soll bald auch im virtuellen Gerichtssaal fallen.

Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Vogelgezwitscher ordnet das Monitoring-System sicher der entsprechenden Art zu.



EUROPA

Artenvielfalt auf dem Acker

Die biologische Vielfalt auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu erhalten, ist das Ziel des EU-Projekts BioMonitor-4CAP, an dem Partnerorganisationen aus zehn europäischen Ländern und Peru beteiligt sind. Mit einem neuen Ansatz des Biodiversitätsmonitorings, der klassische Indikatorensysteme mit akustischen, optischen oder molekularen Methoden kombiniert, sollen Veränderungen der Artenvielfalt erstmals über einen längeren Zeitraum sichtbar gemacht und Maßnahmen für eine nachhaltige Agrarbewirtschaftung entwickelt werden. Das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT ist in dem Projekt für das

akustische Monitoring von Vögeln, Fledermäusen und Grillen verantwortlich. In den Feldstudien setzen die Forscherinnen und Forscher intelligente Hochfrequenz-Sensorsysteme ein. Damit werden auch Tierlaute im Ultraschallbereich erfasst, wie sie beispielsweise von Fledermäusen und Insekten ausgesandt werden. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz werden die Schallsignale automatisch ausgewertet und so die verschiedenen Tierarten sicher identifiziert. Die von den Sensorknoten weitergeleiteten Metainformationen ermöglichen eine umfassende örtliche, zeitliche und statistische Modellierung der Daten.



FRANKREICH Fahrzeugbatterien besser recyceln

Immer mehr Elektroautos, das bedeutet auch immer mehr Altbatterien: Ihr Volumen wird sich in Europa bis 2030 auf über 400 Kilotonnen pro Jahr verachtfachen, berechnete das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Im Verbundprojekt RecyLIB erforschen die Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC mit Partnern aus Belgien, Frankreich und Deutschland, wie die Produktion von nachhaltigen Fahrzeugbatterien gelingen kann, die auf funktionserhaltendem Recycling basieren. Mittels elektrohydraulischer Schockwellen werden in einem wasserbasierten Trenn- und Sortierverfahren die Batteriekomponenten schonend an ihren Materialgrenzen



Wie hoch ist die Leistungsfähigkeit des recycelten Materials im Vergleich zu den Primärrohstoffen? Auch das wird im Projekt untersucht.

zen aufgespalten und nicht, wie bei etablierten Recyclingverfahren, in ihre ursprünglichen Einzelrohstoffe zerlegt. Das aktive Funktionsmaterial kann auf diese Weise in seiner bisherigen Zusammensetzung zurückgewonnen und wieder verarbeitet werden. Ziel ist es, das recycelte Elektrodenmaterial direkt in den Herstellungsprozess zurückzuführen, ohne die Zelleistung zu beeinträchtigen. Um ein nachhaltiges und zirkuläres Batterie-Ökosystem zu gewährleisten, soll auf den Einsatz giftiger Lösungsmittel verzichtet werden.



BRASILIEN Weg mit dem Plastikmüll

Über 2,4 Millionen Tonnen Kunststoff landen jedes Jahr in Brasilien auf Deponien oder vermüllen die Umwelt. Um die Recyclingquote deutlich zu erhöhen und sozialökonomische Strukturen für ein dezentrales Sammel- und Verwertungssystem zu schaffen, entwickelt das Fraunhofer-Institut für chemische Technologie ICT in Zusammenarbeit mit deutschen und brasilianischen Partnern eine integrierte ressourcenerhaltende Wertschöpfungskette für komplexe PET-Verpackungen, wie z. B. Opake- und Multilayer-Verpackungen. Im Mittelpunkt des Gesamtkonzepts revolBRAS steht das Recycling dieser bislang nicht verwertbaren PET-Abfälle. In Kooperation mit Unternehmen vor Ort wird ein neuartiges



Rückgewinnen statt verbrennen – ein neues chemisches Recyclingverfahren soll's möglich machen.

chemisches Recyclingverfahren, die revolPET®-Technologie, für den brasilianischen Markt weiterentwickelt, das Störstoffe aus Misch- und Mehrfachverpackungen isoliert und deren monomere Bestandteile freisetzt. PET-Kunststoff kann so ohne Einsatz fossiler Rohstoffe rückgewonnen werden. Der zweite Forschungsschwerpunkt liegt auf der Untersuchung der Abfallströme – mit dem Ziel, strukturierte und wirtschaftlich rentable Rücknahmesysteme zu erschließen.



PORTUGAL Weinbau zukunftsfähig machen

An der ressourceneffizienten Nutzung von Wasser, Energie und Reststoffen im Weinbau forscht das Fraunhofer Center for Smart Agriculture and Water Management Portugal AWAM gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysieren unter anderem die hohen Abwassermengen, die während der verschiedenen Phasen der Weinherstellung anfallen, und bewerten mögliche technologische Verfahren zu deren Reinigung. Zusätzliche Wassereinsparpotenziale erwarten die Forschenden durch flexiblere Produktionsabläufe. Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts liegt auf einem nachhaltigen Energiemanagement. Das Fraunhofer IKTS führt Versuche zur Erzeugung von methanhaltigem Biogas durch Vergärung organischer Reststoffe wie gegorenem Weintraubentrester oder Ernterückständen durch. Auch die Erzeugung von Wasserstoff aus organischen Abfällen soll perspektivisch in Kooperation mit weiteren Fraunhofer-Instituten untersucht werden.



Der Klimawandel setzt portugiesische Winzer zunehmend unter Druck. Vor allem an Wasser fehlt es.

Wie die Industrie von Ameisen lernen kann

Die Produktion der Zukunft soll sich nach dem Vorbild der Natur als ganzheitlich vernetztes System organisieren. Grundlage ist eine bioinspirierte Software.

Von Andrea Kaufmann

Bäume kommunizieren untereinander, Ameisen unterhalten enge Beziehungen zu bestimmten Pflanzenarten: Ökologische Systeme sind ein Netzwerk von Wechselwirkungen und Interaktionen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK nehmen sich die Natur zum Vorbild. Sie entwickeln im Projekt BioFusion 4.0 unter anderem ein Plattformkonzept für die produzierende Industrie, das eine dynamische Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine ermöglicht und auf dem Prinzip der Selbstorganisation und Selbstoptimierung basiert. Dabei werden die Produktionsbeteiligten intelligent vernetzt, sodass sie selbstständig miteinander kommunizieren und sich flexibel koordinieren können.

»Resiliente Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich an Veränderungen und Anforderungen in ihrer Umgebung selbstorganisiert anpassen«, erklärt die fachliche Projektleiterin Theresa Riedelsheimer vom Fraunhofer IPK. »Im Gegensatz zu herkömmlichen Produktionsprozessen, die über eine zentrale Steuerung optimiert werden, gilt hier das Prinzip Dezentralität durch Individualität.«

Das Fraunhofer IPK entwickelt dazu eine Software, in der jedes am Produktionsprozess beteiligte Element individuell erfasst wird; sie bildet digital dessen spezifische Merkmale, Eigenschaften, Zustände und Verhaltensweisen ab – vom altgedienten Logistik-Roboter bis zur Hightech-Fräsmaschine. IT-Experte Christopher Mühlich vom Fraunhofer IPK: »Nach dem Vorbild der natürlichen Artenvielfalt können sie als autonome Einheiten Informationen empfangen, senden und so die Produktion steuern.«

Diese digitalen Repräsentanten, sogenannte Digitale Zwillinge, sind das grundlegende Element der dezentral organisierten Plattform. Um Produkte und Maschinen eigenständig handlungs- sowie kommunikationsfähig zu machen, werden sie zu »virtuellen Agenten« erweitert, die auf die jeweilige Rolle, Fähigkeiten und Verantwortlichkeiten der digitalen Repräsentanten abgestimmt sind.

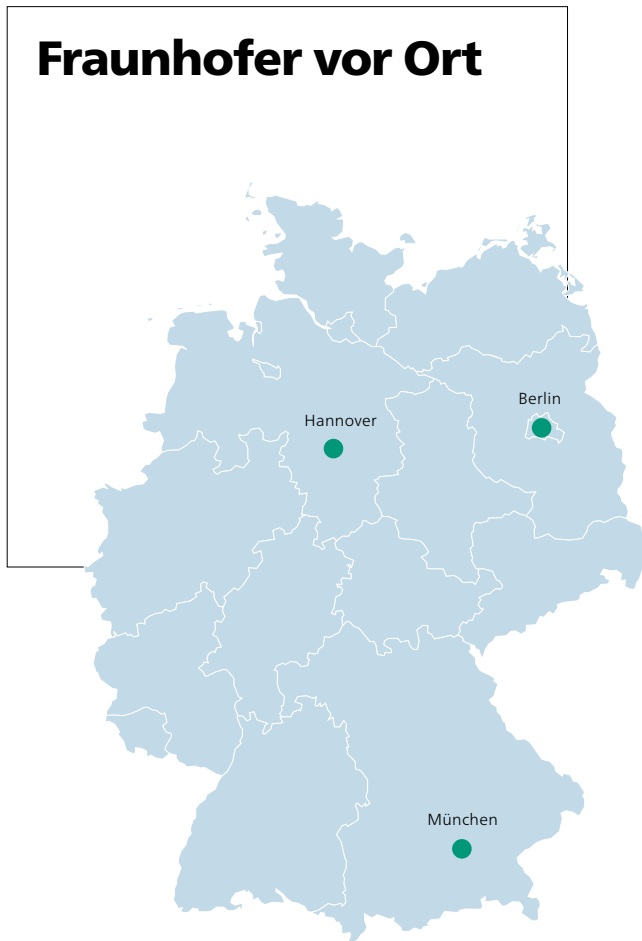
Ein Agent ist ein Softwaresystem, das in einer bestimmten Umgebung situiert ist und das in der Lage ist,

autonom Aktionen in dieser Umgebung auszuführen, um seine individuellen Zielsetzungen zu erreichen. Ebenso wie Organismen in natürlichen Ökosystemen, bei denen jeder eine bestimmte Funktion erfüllt und in Beziehung zu anderen Organismen steht, können auch diese virtuellen Agentensysteme durch Vernetzung kommunizieren, Aufgaben verhandeln und Entscheidungen treffen. Damit weiß die Maschine selbst, ob sie Kapazitäten frei hat oder den Auftrag an den Kollegen weiterleitet. In der Zielvision steuern Produkte aktiv ihren Produktionsprozess und Geräte bestimmen selbstständig die nächsten Arbeitsschritte.

Vorbild für den Aufbau der Agentensysteme ist das kognitive Modell natürlicher Lebewesen – wahrnehmen, schlussfolgern, entscheiden. Ameisen nutzen diese Kette der Informationsverarbeitung bei ihrer pheromongeleiteten Nahrungssuche, indem sie Düfte wahrnehmen, Informationen einordnen und darauf basierend entscheiden, ob sie der Duftspur folgen oder einen anderen Weg einschlagen. Auf diese Weise entsteht ein vernetztes, sich selbst regulierendes digitales System, das genauso wie das natürliche Ökosystem von lokalen Bedingungen beeinflusst wird und durch dynamische Anpassung im Gleichgewicht bleibt. Das System erkennt zum Beispiel selbst, ob alle Agenten effektiv arbeiten, sodass keine Über- oder Unterbelastung entsteht. Entscheidend sind dabei Rückkoppelungsschleifen, die es dem System ermöglichen, aus Fehlern zu lernen.

Weiterer Vorteil der dezentralen Plattformlösung ist, dass jede Mitarbeiterin und jeder Mitarbeiter einen eigenen Zugang zum Netzwerk der Agenten besitzt und den aktuellen Prozesszustand im Blick hat, um bei Bedarf Änderungen vorzunehmen. Ähnlich wie in einem Ökosystem können diese Mechanismen dazu beitragen, dass das System widerstandsfähiger wird, indem es auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren und sich ständig verbessern kann. Entwickelt wird die Plattform unter anderem in der Montage von Modulen für batterieelektrische Fahrzeuge. Bereits gestartete Tests mit Industriepartnern sollen zeigen, wie die Umsetzung in die Praxis gelingen kann. ■

Fraunhofer vor Ort



- 🌐 **Hannover**
17.–21. April 2023
Hannover Messe
Weltleitmesse der Industrie
 Hochtechnologie und innovative Lösungen zur Bewältigung der globalen industriellen Herausforderungen
- 🌐 **München**
17.–22. April 2023
BAU
 Weltleitmesse für Architektur, Materialien, Systeme
- 🌐 **München**
9.–12. Mai 2023
Transport und Logistik
 Weltleitmesse für Logistik, Mobilität, IT und Supply Chain Management
- 🌐 **München**
27.–30. Juni 2023
Laser World of Photonics
 Weltleitmesse für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik
- 🌐 **München**
27.–30. Juni 2023
Automatica
 Leitmesse für intelligente Automation und Robotik
- 🌐 **Berlin**
28.–29. Juni 2023
HUB.Berlin
 Europas interaktives Wirtschaftsfestival für Technik und Digitales

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>



CURT kann, was Glyphosat nicht kann

Wie der Unkrautvernichter bekämpft der Outdoor-Roboter Beikraut auf den Feldern – allerdings selektiv, ohne andere Pflanzen zu schädigen. »Er kann also«, sagt CURT-Entwickler Kevin Bregler vom Fraunhofer IPA, »Brennesseln am Feldrand stehen lassen, während er andere Beikräuter ausrupft.« Dafür fährt der Outdoor-Roboter vollelektrisch, ausgestattet mit Laserscanner, Kamera und GPS-Modul, und fräst unerwünschten Bewuchs vom Feld.

