

Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

**Landlust statt
Landfrust** Start-up:
eine App für die
meisten Deutschen

Wir sind auf dem Sprung

Wirtschaft & Wissenschaft:
Transfer für unsere Zukunft



Violetta Schumm,
Fraunhofer IGCV



**»Fraunhofer denkt den
Transfer schon mit!«**
Ministerpräsident Daniel
Günther im Interview

**Kleine Quanten,
große Wirkung**
Wie neues Computing
neue Lösungen schafft



Bringen Sie Ihre Karriere in Schwung!

Zukunft gestalten mit Fraunhofer-Personenzertifikaten

Mehr erfahren und zertifizieren lassen:
www.personenzertifizierung.fraunhofer.de



Die Fraunhofer-Personenzertifizierungsstelle – Ihr Partner für anerkannte Nachweise beruflicher Weiterqualifizierung in den Kernthemen der Fraunhofer-Gesellschaft. Zertifizierung gemäß ISO 17024.



Scheideweg: Es ist unsere Entscheidung

Von Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Deutschland steht an einem Scheideweg. Diesen Satz werden Sie in den zurückliegenden Wochen häufiger gehört und gelesen haben – und das meist in einem Kontext, der Ihnen wenig Zuversicht vermittelt haben dürfte. Lassen Sie mich an dieser Stelle den so oft beschworenen »Scheideweg« einmal positiv einordnen. Ein Scheideweg ist ein Entscheidungsweg. Entscheiden wir uns jetzt – und stellen die Weichen für Deutschland und Europa in Richtung einer besseren Zukunft.

Wir haben die Zahlen nicht vergessen. Das letzte Quartal des vergangenen Jahres war mit einem Gesamtrückgang von 2,5 Prozent das sechste Quartal in Serie mit einer negativen Umsatzentwicklung für die deutsche Industrie. Die Chemieproduktion sank im Schlussquartal um vier Prozent. Der Umsatz der 22 300 deutschen Industrieunternehmen brach 2024 um fast vier Prozent ein. Besonders stark betroffen: ausgerechnet unsere deutschen Schlüsselbranchen Autoindustrie, Metallbranche und Elektrotechnik. Das ist die Vergangenheit. Lassen Sie uns gemeinsam den »Scheideweg« in Richtung Zukunft betreten.

Was mich zuversichtlich macht? Es ist die Innovationskraft, wie ich sie bei unserer Fraunhofer-Gesellschaft Tag für Tag erleben darf. Die direkte Umsetzung von Erfindungsreichtum in wirtschaftlichen Reichtum ist unsere Kernkompetenz. Sie macht Fraunhofer im Orchester der Forschungsorganisationen so einzigartig. Um uns diese Einzigartigkeit und unseren Anspruch, Forschung in die Anwendung zu bringen, als tägliche Herausforderung bewusst zu machen, haben wir uns für die 365 Tage dieses Jahres ein Motto gegeben. Es heißt: Fraunhofer – Transfer für unsere Zukunft.

Auf diese Zukunft blicken wir nicht blauäugig. Forschung braucht, wenn sie gelingen soll, Voraussetzungen. Verlässlichkeit ist die eine. Klarheit eine andere. Hier ist die Politik gefordert. Ein Transferfreiheitsgesetz für das gesamte Innovationssystem kann den Rechtsrahmen modernisieren und mehr Freiheiten und Flexibilitäten für Wissens- und Technologietransfer in Deutschland schaffen. Eine koordinierte Innovationspolitik verringert bürokratische Strukturen und bringt die Idee in die industrielle Umsetzung. Innovationsanreize können Unternehmen – und hier gera-

Editorial



Prof. Dr.-Ing.
Holger Hanselka

de den Mittelstand – belohnen, wenn sie den Mut zeigen, in frühen Technologie-Reifegraden einzusteigen.

Wenn ich hier an die Politik appelliere, dann weiß ich, dass bei vielen Politikerinnen und Politikern das Bewusstsein für die Bedeutung der Innovation bereits besteht. Daniel Günther, der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein, nennt Forschung im Interview in diesem Fraunhofer-Magazin einen der wichtigsten Rohstoffe unseres Landes. Und er fügt hinzu: »Wir müssen nur den Transfer manchmal etwas besser und dynamischer gestalten. Das macht Fraunhofer ja auf beispielhafte Art und Weise.« Uns bei Fraunhofer ist dabei wichtig, den Begriff Transfer deutlich differenzierter als bislang zu betrachten. Fraunhofers Stärke liegt hier in den Transferpfaden Auftragsforschung, Lizenzgeschäft und Start-ups. Wie strahlend die dabei entstehende Innovationskraft ist, beweist wieder einmal die Hannover Messe, die seit mehr als sieben Jahrzehnten die richtigen und die wichtigen Innovationsakteure zusammenbringt. Lassen Sie uns die Stärken, Vorteile und Alleinstellungsmerkmale als Wissenschafts- und Industriestandort ausbauen und etablieren: als einen echten Leuchtturm mit internationaler Anziehungskraft.

Ihr

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

**Digitale Transformation »Made in Germany« –
Innovationspartnerschaften zwischen Forschung
und Industrie/Keynote auf der TRANSFORM, Berlin**



Inhalt



36 Quantentechnologien Mini-Helfer für mehr Sicherheit

Am Fraunhofer IOF untersucht Dr. Thorsten Goebel das Potenzial von Quanten für den geschützten Informationsaustausch.



24 »Forschung ist einer unserer wichtigsten Rohstoffe«

Schleswig-Holsteins Regierungschef Daniel Günther über den Standort Deutschland, politische Streitkultur und die innere Ruhe der Norddeutschen.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet

09 Impressum

24 »Innovationen mehr Chancen
verschaffen«

Im Interview wirbt Ministerpräsident Daniel Günther für ein anwendungsorientiertes Ideenmanagement

28 Lust aufs Land

Eine Online-Plattform adressiert die Herausforderungen des Dorflebens



10 Transfer für die Zukunft Neue Kraft für die Industrie

Forscher wie Michael Fritz vom Fraunhofer CCIT wollen das Gütesiegel »Made in Germany« wieder an die Spitze bringen.

10 Schneller, effizienter, günstiger
3D-Druck, Matrixproduktion, Roboter: Innovative Technologien heben bewährte Industrieverfahren auf ein neues Level

32 Natürlich nachhaltig
Mit Ansätzen aus der Bioökonomie die Wirtschaft transformieren

66 Die Guten ins Töpfchen
Ob Kekse oder Mikrochips: Eine KI-basierte Software unterstützt bei der Qualitätskontrolle

30 NATO im Dauerkontakt

Per »In-Band Full-Duplex« können Funkpartner künftig gleichzeitig senden und empfangen

36 Kleine Quanten – große Wirkung

Statusbericht aus der Quantenphysik: Wo winzige Teilchen bereits Großes bewirken

48 Rechner mit Superkraft

Mehr Technologie-Souveränität: Fraunhofer arbeitet mit an Deutschlands erstem Quantencomputer

50 Ein Zwilling für jeden

Vorbeugen statt heilen: Der Digitale Patientenzwilling könnte die Medizin revolutionieren

53 Implantate individualisieren

Eine am Fraunhofer IAP entwickelte Biotinte kann Gelenkschmerzen lindern.



50 Doppelgänger aus Daten

Erkennen wir dank Künstlicher Intelligenz künftig Erkrankungen, noch bevor sie Leid verursachen?

53 Verstärkung fürs Knie – aus dem 3D-Drucker

Mit innovativen Biopolymeren die Gelenkarthrose bekämpfen

54 Schneller geheilt

KI und Mini-Organe aus der Petrischale bringen Tempo in die Arzneimittel-Entwicklung

58 Hilfe für die Helfenden

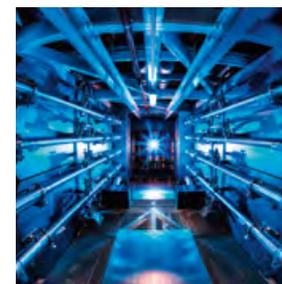
Mit Algorithmen Zeit sparen: Eine Fraunhofer-Ausgründung unterstützt Pflegedienste bei der Tourenplanung

60 Fraunhofer international**62 Auf dem Weg zum Freischwimmer**

Auf einem Tagebausee in Ostdeutschland wird nun Sonnenenergie geerntet

68 Hugo-Geiger-Preise

Drei Fraunhofer-Forscherinnen für herausragende Promotionsarbeiten ausgezeichnet



76 Energie der Zukunft

Die Kernfusionsforschung wird angetrieben von der Idee einer nachhaltigen Energiegewinnung.

74 Foto & Fraunhofer

Mehr Löschkraft: Innovatives Verfahren zur Bekämpfung von Großbränden

76 Nach dem Vorbild der Sonne

Entscheidende Fortschritte auf dem Weg zum Fusionskraftwerk

79 Fraunhofer vor Ort

25 033 Patentanmeldungen im Jahr 2024: Damit führt Deutschland das Europa-Ranking des Patent Index 2024 an; weltweit reichten nur die USA mehr Patente ein. Im globalen Vergleich der Forschungsinstitutionen belegt die Fraunhofer-Gesellschaft (517 Anmeldungen) **Platz 2** nach dem französischen CEA.



Kurz gemeldet



Aufschäumen nur mithilfe von Wärme: Eine neuartige Folie macht's möglich.

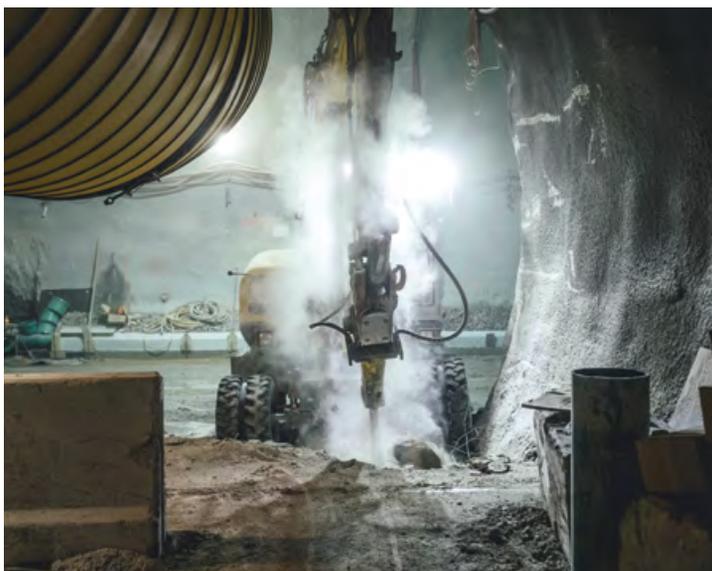
Sicher schäumen

PU-Schaumstoffe sind gefragt: als Möbelpolster, als Fugenfüller oder als Verpackungsmaterial. Einem Team des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP ist es gelungen, gesundheitliche Risiken bei der Herstellung auszuräumen. Die Forschenden haben eine Folie entwickelt, aus der sich mithilfe von Wärme Polyurethan(PU)-Schäume herstellen lassen – ganz ohne die Verwendung von Isocyanaten. Diese hochreaktiven, toxischen Verbindungen stehen im Verdacht, krebserregend zu sein. Für den Umgang mit ihnen gelten daher strenge Regelungen und Schutzmaßnahmen. So verbessert der isocyanatfreie Schaum FOIM aus dem Fraunhofer IAP erheblich die Arbeitssicherheit, insbesondere bei Anwendungen vor Ort, wie beispielsweise in der Bauindustrie. Die Eigenschaften des neuartigen Materials sind variabel: Wie flexibel oder wie transparent die Folie vor dem Aufschäumen ist, können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler individuell einstellen, ebenso die Dichte, die Wärmeleitfähigkeit, die Elastizität oder die Kompressions-eigenschaften des Schaums. Bei einer Temperatur von 60 Grad Celsius dehnt sich die Folie von 2,5 Millimetern Dicke zu einem Schaum mit 40 Millimetern Höhe aus – so lässt sich auch Platz beim Transport und bei der Lagerung sparen. ■

Schnell wieder einsatzfähig

Fraunhofer-Forschende kombinieren clevere Lasertechnik mit Künstlicher Intelligenz, um abgenutzte Bergbau-Werkzeuge rasch und ressourcenschonend instand zu setzen. Im Projekt AI-SLAM arbeitet das Team des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT gemeinsam mit Partnern aus Kanada und Deutschland an einer KI-basierten, automatisierten Reparatur der Geräte mithilfe von Laserauftragschweißen (LMD). Dabei werden ein metallisches Pulver und der Laserstrahl durch eine Optik so geführt, dass der Laserstrahl beispielsweise auf einem abgeschliffenen Baggerzahn oder einer verschlissenen Bohrkronen ein Schmelzbad erzeugt. Dann wird das Pulver aufgebracht. Durch die Bewegung werden hochwertige Metalllegierungen Bahn für Bahn und Schicht für Schicht aufgetragen und die ursprüngliche Kontur des Werkzeugs exakt wiederhergestellt. Alle Reparaturschritte laufen automatisiert: von der Aufnahme der Defekte über die Planung der Bahnen und Parameter beim Schweißen bis zur Umsetzung und Qualitätskontrolle. Die komplexen Planungs- und Steuerungsprozesse übernimmt eine mehrteilige KI. ■

Verschlossene Bergbau-Werkzeuge werden bisher meist eingeschmolzen und durch neue ersetzt.



Innovative Lasertechnik hilft kurzsichtigen Kindern

Mikrolinsen in Brillengläsern hemmen die wachstumsbedingte Verschlechterung von Kurzsichtigkeit bei Kindern. Eine neue Methode, mit der sich die heilsamen Linsen kostengünstiger und individualisiert herstellen lassen, haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS entwickelt. Beim innovativen Laser Swelling werden Kunststoffe, die für Brillengläser genutzt werden, mit einem fokussierten Infrarot-Laser bestrahlt. »Da sich der Laserstrahl sehr präzise auf Oberflächen positionieren lässt, können wir deutlich kleinere Mikrolinsen herstellen als mit dem bisherigen Verfahren«, erklärt Prof. Thomas Höche, Leiter des Geschäftsfelds Optische Materialien und Technologien am Fraunhofer IMWS. »So lassen sich die Mikrolinsen auf Brillengläsern sehr flexibel anordnen – und können damit individuell auch auf kleine Brillenträger zugeschnitten werden.«

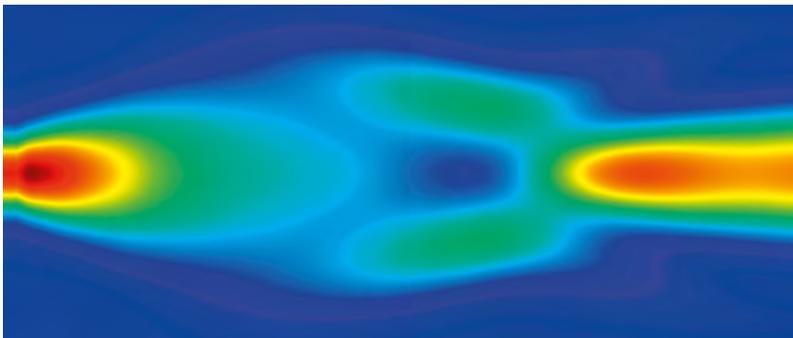
Durch einen überlagernden Brennpunkt in der Peripherie verlangsamen die Mikrolinsen das Längenwachstum des Augapfels, das



das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit verursacht. So kann auch möglichen Folgeerkrankungen der Kurzsichtigkeit vorgebeugt werden: Netzhautablösungen, grauem Star oder Makuladegeneration. ■

Dank Mikrolinsen beim nächsten Sehtest glänzen.

Stark unter Wasser

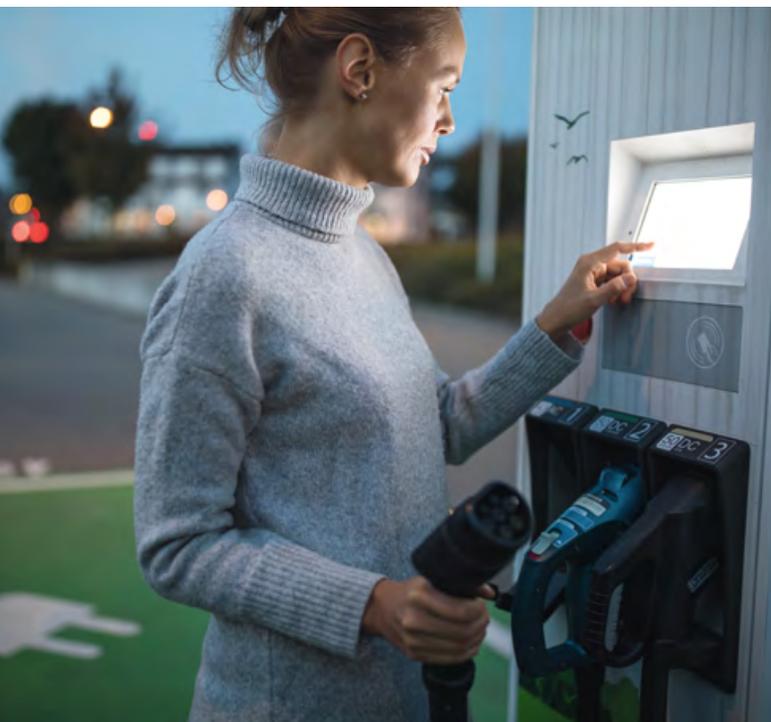


In Glas integrierte Lichtleiter können die Messqualität von Sensoren deutlich verbessern.

An einem Sensor für die Dichtemessung von Meerwasser arbeiten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM. Damit könnten deutlich bessere und einheitlichere Klimamodelle erstellt werden. Der innovative Sensor nutzt das Prinzip des Interferometers, das die Überlagerung von Lichtwellen misst. Aktuell erfassen

Dichtesensoren die elektrische Leitfähigkeit des Meerwassers, aus der sich seine Dichte erschließen lässt. Dieser Prozess stützt sich jedoch auf weltweit unterschiedliche Referenzwerte. Eine unmittelbarere, rein optische Messung mittels des neuen Sensorkonzepts würde eine deutlich höhere Auflösung und eine Standardisierung der Messergebnisse ermöglichen.

Der innovative Sensor ist nur einer von mehreren neuartigen Sensortypen, die das Fraunhofer IZM-Forschungsteam im Projekt 3DGlassGuard gemeinsam mit Partnern entwickelt. Das Ziel des Konsortiums: die Messqualität von Sensoren für Forschung und Industrie mithilfe von in Glas integrierten Lichtleitern deutlich zu verbessern. Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Umsetzung der Demonstratoren, um diese dann Funktionalitätstests zu unterziehen. ■



E-Tankstellen müssen künftig ähnlich leistungsfähig sein wie herkömmliche Tankstellen.

Laden in Rekordzeit

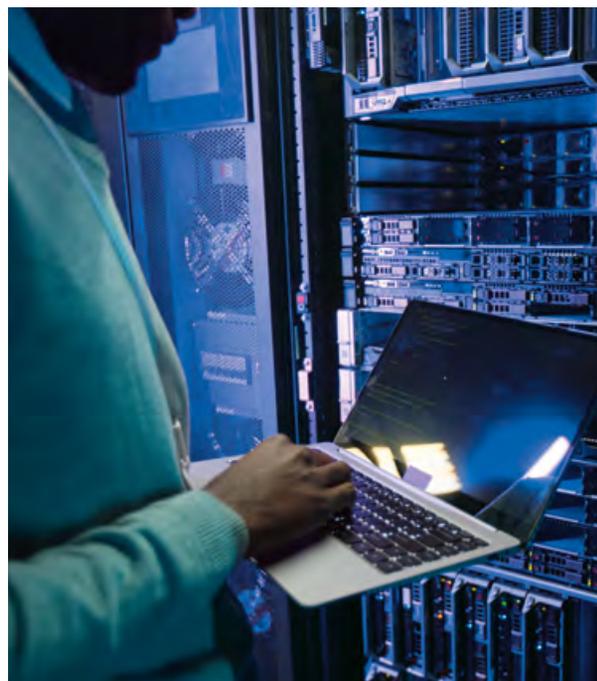
Schnelle Hochleistungs-Ladestationen für E-Fahrzeuge entwickelt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zusammen mit Partnern aus der Industrie im Projekt »MS-Tankstelle«. Die innovative Mittelspannungs-Systemtechnik für die E-Ladesäulen der Zukunft ermöglicht Spitzenlasten von mehreren Megawatt. Durch den Einsatz von Siliziumkarbid-Halbleitern und die Anhebung des Spannungsniveaus können Materialeinsatz und Kosten deutlich reduziert werden. Gleichzeitig ist das System sehr effizient und lässt sich flexibel auf unterschiedlich große Ladestationen und verschiedene Fahrzeugtypen anwenden.

Ladestationen an Autobahnen, in Parkhäusern oder Logistikzentren müssen künftig ein Vielfaches der heutigen Leistung in kurzer Zeit liefern. Herkömmliche Niederspannungs-Wechselstromnetze stoßen hier schnell an ihre Grenzen. Die Forschenden setzen daher auf ein Mittelspannungsnetz, das mit einem Gleichrichter auf einer Spannung von 1500 Volt betrieben wird. Die höhere Spannungsebene führt zu einer höheren Leistung bei gleicher Stromstärke, ohne dass der Kabelquerschnitt größer werden muss. ■

Cyberattacken erfolgreich abwehren

Das KI-basierte Open-Source-System AMIDES erkennt zuverlässig und schnell Cyberangriffe auf Unternehmensnetzwerke, die herkömmliche Systeme übersehen. Entwickelt wurde es am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE. Mit AMIDES, kurz für »Adaptive Misuse Detection System«, führen die Expertinnen und Experten ein Konzept zur adaptiven Missbrauchserkennung ein, das überwacht Maschinelles Lernen nutzt, um potenzielle Regelumgehungen zu erkennen. Gleichzeitig ist AMIDES darauf optimiert, Fehlalarme auf ein Minimum zu reduzieren. Die frei verfügbare Software ist vor allem für größere Organisationen sinnvoll, die bereits über ein zentrales Sicherheitsmonitoring verfügen und dieses verbessern möchten.

Um Datendiebstahl, Sabotage und Erpressung vorzubeugen, nutzen viele Firmen und Behörden sogenannte Sicherheitsinformations- und Ereignismanagement-Systeme (SIEM), die Cyberattacken mithilfe von Detektionsregeln oder Signaturen entdecken können. Forschende des Fraunhofer FKIE haben jedoch in umfangreichen Tests nachgewiesen, dass es möglich ist, viele solcher Signaturen leicht zu umgehen. ■



Lässt sich von Cyberkriminellen nicht so leicht austricksen: die frei verfügbare Software AMIDES.

Impressum

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

Herausgeber:

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

Kostenloses Abonnement:

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

Redaktion:

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

Redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,
Meike Grewe, Sirka Henning, Andrea
Kaufmann, Michael Krapp, Manuel
Montefalcone, Dr. Monika Offen-
berger, Laura Rottensteiner-Wick,
Mehmet Toprak, Yvonne Weiß

Layout + Litho:

Vierthaler & Braun

Titelbild und Fotografie

der Titelstrecke: Norman Konrad
Fotografie Quanten: Sebastian Arlt

Druck:

be1druckt GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2025

Fraunhofer in Social Media:

@Fraunhofer



www.facebook.com/
fraunhoferde



www.instagram.com/
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/
fraunhofer



Druckprodukt mit finanziellem
Klimabeitrag
ClimatePartner.com/HS86-2410-1002



MIX
Fördert gute
Waldnutzung
FSC® C022647



Zwischen 2005 und
2023 hat sich die Zahl
der Menschen mit der
Diagnose schwarzer
Hautkrebs mehr als
verdoppelt.

KI-Scanner erkennt Melanome schnell und sicher

Frühzeitig entdeckt, hat Hautkrebs gute Heilungschancen.
Ein KI-basierter Ganzkörperscanner beschleunigt und verbessert
zukünftig die Diagnose.

In nur sechs Minuten untersucht der innovative Scanner mithilfe eines kognitiven KI-Assistenten den kompletten Körper und liefert für jede auffällige Hautveränderung eine Risikobewertung. 20 Partner entwickeln das Diagnosesystem im EU-Projekt iToBoS. Ein Forschungsteam des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI sorgt dafür, dass die eingesetzten KI-Systeme zuverlässig und sicher sind. Dafür nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler XAI-Methoden, die die KI-Prognosen erklärbar machen.

Der Scanner ist das Herzstück der ebenfalls im Projekt entwickelten cloudbasierenden KI-Diagnoseplattform, in der Gesundheitsdaten aus verschiedenen Quellen wie Krankenakten, Genomdaten und In-vivo-Bildgebung zusammengeführt werden.

Die hochauflösenden Kameras des Scanners sind mit Flüssiglinsen ausgestattet, die das Design des menschlichen Auges nachahmen. Basierend auf zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten mit unterschiedlichem Brechungsindex erreichen sie eine noch nie dagewesene Bildqualität. Für eine hoch personalisierte Diagnose werden die Untersuchungsaufnahmen durch Maschinelles Lernen zusammen mit sämtlichen verfügbaren Patientendaten (Angaben zu UV-Schäden, Risikogruppe etc.) in die KI-Diagnoseplattform mit dem kognitiven KI-Assistententool integriert.

Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des Scanners lassen sich in kurzer Zeit nicht nur viele Patientinnen und Patienten untersuchen, vielmehr kann man die Scans auch oft und über einen längeren Zeitraum wiederholen und miteinander vergleichen – und so Hautveränderungen gut beobachten. ■

Transfer für unsere Zukunft



Neue Kraft für die Industrie

»Made in Germany«: Das Gütesiegel ist weit über 100 Jahre alt. Aktuelle Forschung und weiterentwickelte Technologien geben ihm neue Dynamik für die Zukunft. Starten wir durch!

Von Dr. Janine van Ackeren; Fotograf: Norman Konrad

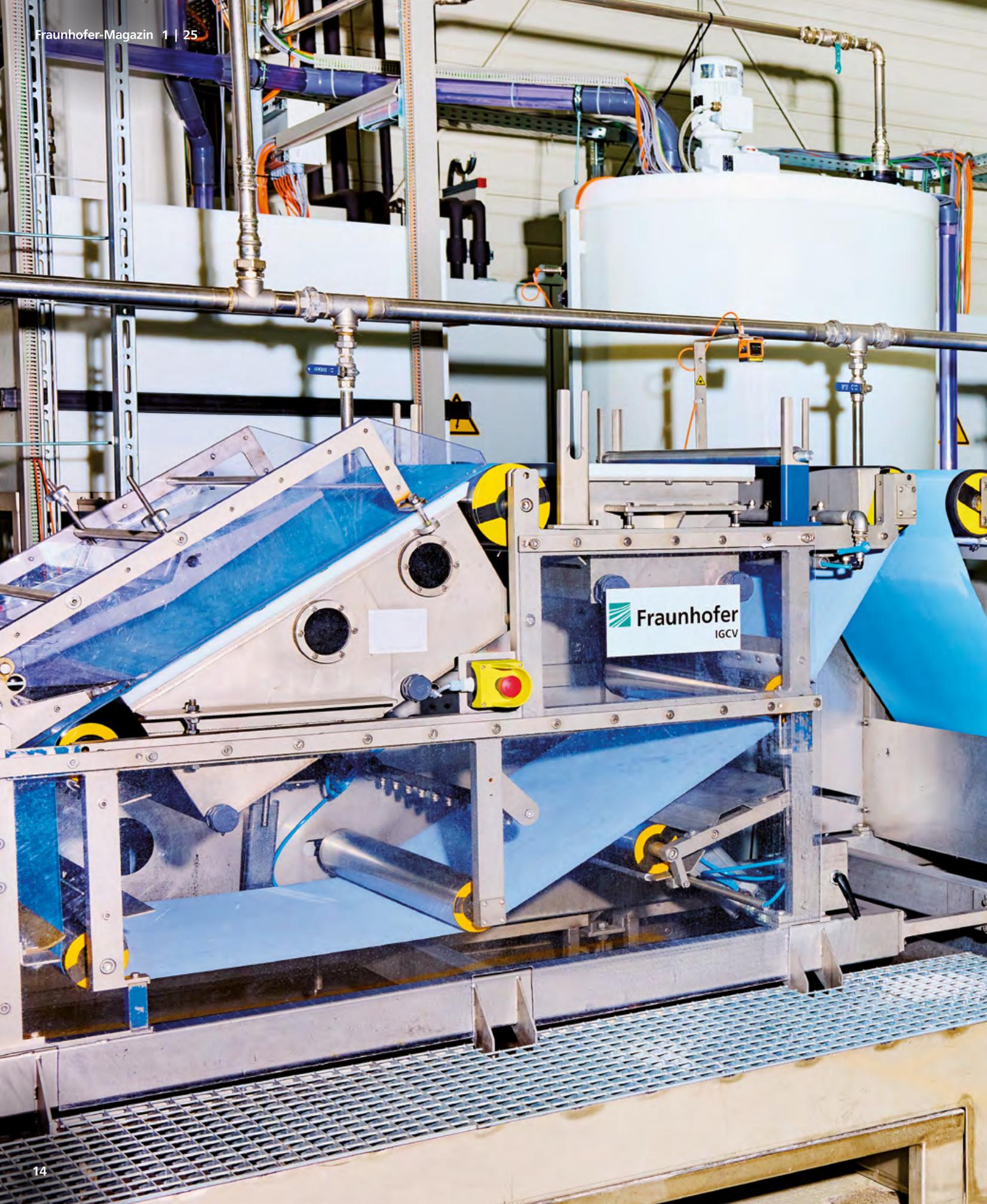


Superkräfte entfachen:
Michael Fritz setzt
im Fraunhofer CCIT
auf dynamische
Datenverschiebung.





Mehr Tempo:
Holger Hillig beschleunigt
am Fraunhofer IWS das
Laserauftragschweißen.





Innovationsprünge machen: Violetta Schumm findet am Fraunhofer IGV neue Optionen für die Nassliestechnologie.



Extra-Power für den 3D-Druck: Lukas Boxberger erweitert am Fraunhofer IWU das Einsatzpotenzial der additiven Fertigung.

Es ist groß, das Ansehen von Gütern aus deutschen Fabriken. 2017 errang das »Made in Germany«-Siegel bei einer Studie des Statistikportals und Marktforschungsunternehmens Dalia Research den ersten Platz. Einer aktuellen Untersuchung der Unternehmerplattform Meisterkreis, der Transformationsforschungsagentur Sturm und Drang und der Agenturgruppe Serviceplan Group zufolge favorisieren 25 Prozent der Konsumentinnen und Konsumenten in Europa, China und den USA deutsche Marken. Noch, möchte man hinzufügen, denn es zeigt sich ein Trend zu heimischen Produkten – vorangetrieben unter anderem vom US-Präsidenten Donald Trump und seinem »America first«. Und, wie die aktuelle Studie ebenfalls enthüllt: Hierzulande befindet sich das Image deutscher Produkte im Sinkflug. So gaben 42 Prozent der deutschen Studienteilnehmenden an, dass sich deren Ansehen verschlechtert habe.

Wie also steht es um die deutsche Ingenieurskunst? Mit welchen Technologien und Verfahrensweisen lässt sich international ein Wettbewerbsvorteil einfahren? Und wie kann die Forschung der Industrie zur Seite stehen?

3D-Druck: Schnell, schneller, am schnellsten

Ein großer Trend ist hier die additive Fertigung: Sie zählt zu den starken Wachstumsfeldern innerhalb der Produktion. Expertinnen und Experten prognostizieren für die nächsten fünf Jahre ein durchschnittliches jährliches Plus von etwa 20 Prozent über alle Industriezweige hinweg. Bislang hapert es jedoch an der Wirtschaftlichkeit: »Lange Fertigungszeiten und teure Ausgangsmaterialien stehen der Produktion über den 3D-Druck insbesondere bei größeren Bauteilen entgegen«, weiß Dr. Martin Kausch, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz. Dies zu ändern, haben sich die Forschenden am Fraunhofer IWU zum Ziel gesetzt: mit dem von

ihnen entwickelten »Screw Extrusion Additive Manufacturing«, kurz SEAM. Statt Kunststofffilamente für 30 bis 100 Euro pro Kilogramm zu verwenden, dienen Kunststoffgranulate als Basis – für sechs Euro pro Kilogramm im Fall von kohlenstofffaserverstärktem Polypropylen, bei Spezialkunststoffen kann es teurer werden. Auch die Verarbeitung hat das Team optimiert. Üblicherweise wird der Kunststoffdraht (Filament) ähnlich wie bei einer Heißklebepistole einem warmen Zylinder zugeführt, geschmolzen und durch eine Düse gedrückt – etwa 200 Gramm Kunststoff pro Stunde lassen sich auf diese Weise zum Bauteil verarbeiten. »Wir setzen stattdessen auf eine kleine Extruderschnecke, die das Granulat befördert und über mehrere Heizzonen plastifiziert. Der maximale Durchsatz beträgt 15 Kilogramm pro Stunde, also 75-mal mehr als üblich«, konkretisiert Kausch. Um den entsprechenden Druckkopf zu vermarkten, gründete das Fraunhofer IWU 2020 die Firma IA-Technologies aus – mit Erfolg.

Doch IA-Technologies und die Fraunhofer-Forschenden haben noch mehr im Köcher: »Während sich der Materialfluss bei anderen Ansätzen nicht anhalten lässt und daher nur Endlosstrukturen wie das »Haus vom Nikolaus« druckbar sind, haben wir eine regelbare Bypass-Düse patentieren lassen. Mit dieser können wir den Schmelzstrom zwischen null und hundert Prozent regeln«, beschreibt Kausch. Das Verfahren wird bereits eingesetzt: Die MO-SOLF Special Vehicles GmbH produziert damit Beladungssysteme für Polizeifahrzeuge, die gegenüber herkömmlichen Modellen etwa 50 Prozent des Gewichts einsparen und sich in rund 12 Stunden drucken lassen. Über herkömmlichen 3D-Druck würde die Herstellung mehrere Wochen in Anspruch nehmen. Kausch ist sich sicher: »Durch effizientere Prozesse und günstigere Ausgangsstoffe senken wir den Break-Even-Punkt, ab dem 3D-Druck wirtschaftlich wird, immer weiter. Während der Spritzguss nahezu ausgereift ist, sind bei der additiven Fertigung weitere Entwicklungssprünge nach oben zu erwarten.«

Elektronische Produkte – ausgedruckt

Statt Produkte in Billiglohnländern herstellen zu lassen und dann quer über den Globus zu karren, könnte es sich dank 3D-Druck künftig lohnen, die komplette Fertigungskette wieder nach Deutschland zu holen. Und damit nicht nur klimaschonender und schneller zu fertigen, sondern auch fragile globale Lieferketten zu vermeiden. »Wir wollen komplexe Produkte auf Knopfdruck druckbar machen – und zwar lokal dort, wo sie benötigt werden«, sagt Kauschs Kollege Lukas Boxberger, ebenfalls Abteilungsleiter am Fraunhofer IWU. Es genügt, die Daten in die Maschine einzuspeisen, und schon produziert sie eine Kaffeemaschine, eine Bluetooth-Box oder einen Staubsaugerroboter in direkter Nähe zum Kunden.

»Eine solche Maschine muss im Wesentlichen vier Teilprozesse beherrschen: nicht-druckbare Dinge wie Textilien, Folien oder Furnierholz festhalten, Strukturen aufbauen, Kabel für elektronische Produkte integrieren und weitere Elemente wie Motoren oder Displays einlegen«, erläutert Boxberger. Dies haben die Forschenden über verschiedene Werkzeugköpfe gelöst, die je nach Bedarf ausgewechselt werden und mit denen die Maschine die anstehenden Aufgaben bewältigen kann. Als Prototyp existiert die Maschine bereits unter dem Namen »Multi-Material-Additive Manufacturing«, kurz MMAM.

Nicht nur die Maschine selbst bedeutet einen großen Schritt für die Produktion. Insbesondere die Integration von Drähten eröffnet weitere Optionen. Denn die Gestaltungsfreiheit, für die die klassische additive Fertigung gerühmt wird, besteht bislang ausschließlich für Kunststoff-Bauteile. »Unser System erweitert den 3D-Druck um maximale Funktionsflexibilität: Wir können elektrische Eigenschaften und Datenleitungen ebenso einbringen wie Antennen- oder thermische Funktionen«, beschreibt Boxberger. Der entwickelte Druckkopf führt Draht und Kunststoff zusammen. Dabei kann er jeden Metaldraht – ob aus Kupfer, ►

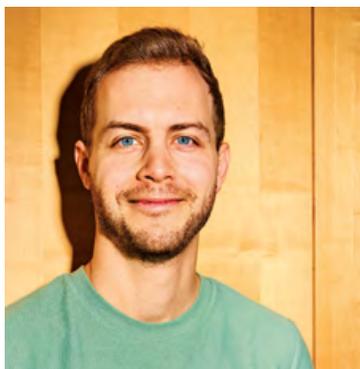
Konstantan oder Nickel-Titan – in verschiedenen Durchmessern mit sämtlichen Thermoplasten kombinieren und somit jede Funktion realisieren. Ein erstes Produkt hat die Maschine bereits automatisiert gedruckt, gänzlich ohne menschliche Mitwirkung: Folie einlegen, Spule wickeln, Magneten und Platine einsetzen. Heraus kam ein Lautsprecher, der direkt einsatzfähig war.

Ein weiterer Vorteil: Die Fertigung lässt sich völlig anders denken. Boxberger: »Kabel können ins Gehäuse eingedruckt, Schalter über druckempfindliche Bereiche direkt ins Gehäuse integriert werden. Ins Bauteil eingefügte oder direkt auf das Bauteil gedruckte Leitungen erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterung sowie die Funktionsdichte der Bauteile und tragen zu einem reduzierten Materialverbrauch bei.« Derzeit skaliert das Team die Anlage auf die Größe eines Seecontainers hoch. Statt vier ermöglicht diese zwölf Operationen: Auch komplexe Kabelbäume, optische Funktionen, Datenleitungen aus Glasfasern und Lichtleitelemente sind dann druckbar. Ende 2026 soll ein Prototyp fertig sein.

Laser im Pulverbett

Während der 3D-Druck sich für die Fertigung von kunststoffbasierten Produkten anbietet, sind Laserprozesse das additive Verfahren der Wahl für metallische Produkte: etwa das selektive Laserstrahlschmelzen (engl.: Laser Powder Bed Fusion), bei dem Metallpulver schichtweise durch einen Laserstrahl verschmolzen wird. Vom Aachener Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT im Jahr 1996 entwickelt, ist es mittlerweile die dominierende Technologie auf dem Markt: Die additive Fertigung von Metallteilen erfolgt zu mehr als 80 Prozent mithilfe des Verfahrens. Auch Kunststoffe lassen sich damit drucken.

Ausgereizt ist das Verfahren aber noch lange nicht. Dr.-Ing. Tim Lantzs, Abteilungsleiter am Fraunhofer ILT, sieht insbesondere im Beamshaping, also dem Formen des Laserstrahls, noch Potenzial.



»Wir wollen komplexe Produkte auf Knopfdruck druckbar machen – und zwar lokal dort, wo sie benötigt werden.«

Lukas Boxberger, Fraunhofer IWU

Denn der standardmäßig verwendete gaußförmige Laserstrahl überhitzt das Material lokal, was nicht nur die im Prozess bearbeitete Metallpulverschicht aufschmelzen lässt, sondern auch die zwei bis drei darunterliegenden Schichten, die bereits zuvor bearbeitet wurden – energetisch wenig sinnvoll. »Mit einer komplexeren Strahlform können wir die Energie noch mal ganz anders auf das Pulverbett verteilen«, sagt Lantzs. »Schon einfache Strahlformungen mit rechteckigen oder ringförmigen Verteilungen verdoppeln die Prozessgeschwindigkeit und steigern die Bauteilqualität.« Simulationen helfen den Forschenden abzuschätzen, wie sich unterschiedliche Strahlformen auf Temperaturverteilung und Schmelzbad auswirken. Parallel bauen sie die nötige Hardware auf.

Entsprechend flexible Maschinen für die additive Fertigung – beispielsweise eine der größten Pulverbettmaschinen der Welt, die sich im Fraunhofer ILT befindet – werden fortlaufend weiterentwickelt, um den Transfer der gewonnenen Erkenntnisse in die Industrie zu erleichtern.

Die Grenzen des Laserstrahlschmelzens durch angepasste Scanstrategien zu verschieben, ist das Ziel von Forschenden des Fraunhofer IWU. »Bisher werden die Scanbahnen des Lasers von der Maschinen-Software vorgegeben und lassen sich nur geringfügig ändern. Doch sind sie nicht immer geschickt gewählt. So werden komplex geformte Bauteile oft nur mit einer Scanstrategie und einem Laserparametersatz gefertigt, was die Maßhaltigkeit des Bauteils beeinträchtigt«, erläutert Dr.-Ing. Juliane Thielsch, Technologiemanagerin am Fraunhofer IWU. Thielsch und ihr Team haben gemeinsam mit der TU Dresden (Professur VPE) eine Softwarelösung entwickelt, die ermöglicht, einzelne Scanbahnen des Lasers gezielt zu verändern und diesen Scanbahnen separate Parametersätze wie Laserleistung oder Lasergeschwindigkeit zuzuordnen. »Die Freiheit, die uns die Software im Bearbeitungsworkflow bietet, ist sehr groß«, lobt Thielsch. »So kann der oder die Nutzende zwischen verschiedenen Scanstrategien wählen und selbst Scanbahnen editieren, löschen oder neue hinzufügen.« Bei Kurzschaft-Implantaten für das Schultergelenk konnten die Forschenden so die Abweichungen der Maßhaltigkeit von 21 auf 3 Prozent senken.

Metall trifft Metall

Mitunter ist es sinnvoll, unterschiedliche Metalle und damit Funktionen zu kombinieren. Etwa bei einem Werkzeug für den Spritzguss: Stahl garantiert eine hohe Festigkeit, eine Kupferlegierung verbessert die Wärmeleitfähigkeit. Derzeit erfolgt die Fertigung solcher Metall-Metall-Produkte häufig über elektrochemische Prozesse, die unter die REACH-Chemikalienverordnung (»Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals«) fallen. Es sind daher Alternativen gefragt.

»Um zwei verschiedene Materialien präzise und getrennt voneinander additiv aufbringen zu können, haben wir einen pulverbettbasierten Prozess mit zwei Materialkammern entwickelt«, sagt Dr.-Ing. Georg Schlick, der die Abteilung »Additive Fertigung« am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV leitet. »Wir bringen das erste Materialpulver auf, schmelzen es mit dem Laser, saugen das nicht verwendete Pulver ab und starten dann den gleichen Prozess mit dem zweiten Material.«

Das Spin-off Fidentis wird dieses Verfahren künftig nutzen, um Teleskopkronen für den Zahnersatz zu produzieren. Bislang ist die Fertigung solcher Kronen von Handarbeit geprägt, dadurch teuer und somit eher Privatversicherten vorbehalten. Die neuartige Fertigung könnte dies ändern: Bereits zu Ostern sollen die ersten Patientinnen und Patienten versorgt werden. Auch für andere Anwendungen sieht Schlick viel Potenzial – insbesondere dort, wo thermische und mechanische Lasten zusammentreffen. »Über das Verfahren können wir die Funktion eines Bauteils, etwa eines Werkzeugs, verbessern und somit die Kosten des Endprodukts senken«, sagt Schlick. »Es steht zu hoffen, dass wir die Fertigung auf diese Weise von Fernost zurück nach Europa holen.«

Laserdrahtauftragschweißen mal acht

Statt Pulver mittels Laser zu verflüssigen, lässt sich das aufzuschmelzende Material auch in Drahtform verwenden. Dabei werden im Gegensatz zum Pulverstrom hundert Prozent des zugeführten Drahts ins Schmelzbad überführt. Bislang war das Verfahren zu langsam für industrielle Hochleistungs-Beschichtungen. Künftig könnte es sich zu einem ernsthaften Konkurrenten für das Laserpulverauftragschweißen entwickeln. Grund für diesen Entwicklungsschub ist ein Verfahren namens COAXquattro, das Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS entwickelt haben. Es

vereint gleich mehrere Besonderheiten: Wird der Metalldraht üblicherweise in der Mitte des Anlagenkopfes geführt und von seitlich angeordneten Laserstrahlen aufgeschmolzen, drehte das Team den Aufbau kurzerhand um. Nun befindet sich der Laser in der Mitte, während mehrere Drähte von außen zugeführt werden. »Auf diese Weise können wir Standardoptiken verwenden, die aktuell bis 20 Kilowatt Laserleistung nutzbar sind. Das System ist im Vergleich mit vorherigen Laserschweißköpfen hinsichtlich Abschmelzrate drei bis vier Mal produktiver«, sagt Dr.-Ing. Elena Lopez, Abteilungsleiterin am Fraunhofer IWS.



»Indem wir in einem Arbeitsschritt unterschiedliche Metalle verwenden, können wir Beschichtungen aus In-situ-Legierungen erzeugen.«

Holger Hillig, Fraunhofer IWS

Zudem führt das Team mit dem speziell entwickelten Schweißkopf bis zu vier Drähte sowie vier Pulverstrahlen in den Prozess. »Indem wir in einem Arbeitsschritt unterschiedliche Metalle verwenden, können wir Beschichtungen aus In-situ-Legierungen erzeugen. Die Ausgangsmaterialien werden erst beim Beschichtungsprozess miteinander vermischt«, erläutert Holger Hillig, Projektleiter und Kollege von Lopez. So lassen sich ohne zusätzliche Verfahren lokalisierte gewünschte Eigenschaften in die Beschichtung einbringen – etwa lokal höhere Härte, thermische Leitfähigkeit oder ein besonderer Ausdehnungskoeffizient. COAXquattro rückt die Beschichtung über das Laserdrahtauftragschweißen in einen wirtschaftlichen Bereich, und das für sehr große Bauteile wie Planetengetriebe – mit laserbeschichteten Gleitlagerbolzen – für Windkraftanlagen oder zur Verschleißschutzpanzerung von Extrudern für die Reifenherstellung.

Bei der additiven Fertigung erschließt das Verfahren neue Einsatzgebiete: »Für die Seitenfläche eines Zuges der Deutschen Bahn waren bislang sieben verschiedene Produktionsschritte nötig. Wir können dies auf drei Schritte reduzieren«, hebt Lopez hervor. Indem durch die additive Fertigung andere Geometrien ins Reich des Möglichen rücken, setzen die Forschenden zur Stabilisierung des Seitenteils auf eine bionisch inspirierte Struktur, die den Adern eines Blattes ähnelt. Auf diese Weise wird das Bauteil um 30 Prozent leichter. Langfristig kann COAXquattro auch Stoffe ersetzen, die von Ressourcenknappheit betroffen sind – indem man über die Legierung dieselben Eigenschaften erzielt. Wie genau sich dies realisieren lässt, untersuchen die Forschenden im Fraunhofer-Leitprojekt ORCHESTER.

Kritische Stoffe ersetzen

Ein anderes Laserverfahren aus dem Fraunhofer ILT, das sich zum Industriestandard gemausert hat, ist das Extreme-Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA. Dabei wird das Pulver direkt im Laserstrahl vor dem Auf- ▶

treffen auf das Bauteil geschmolzen. So lassen sich dünne Schichten herstellen und viel Fläche in kurzer Zeit beschichten. »EHLA ist besonders attraktiv, wenn hohe Prozessgeschwindigkeiten, dünne Schichten und nachhaltige Materialnutzung gefragt sind«, sagt Dr.-Ing. Thomas Schopphoven, Abteilungsleiter am Fraunhofer ILT. Beim Ersatz von umweltschädlichem Chrom(VI)-Verfahren ist EHLA bereits etabliert – und künftig bei der Substitution kritischer per- und polyfluorierter Alkylverbindungen PFAS. Auch hinsichtlich der Erfüllung der Euro-7-Abgasnorm verspricht die Technologie Hilfe: »EHLA ist eine zentrale Lösung für die Beschichtung von Pkw-Bremsscheiben. Die stoffschlüssige und fest verbundene Schicht verringert den Abrieb und senkt so die Partikelemissionen«, erläutert Schopphoven. Derzeit wird die Serienfertigung in der Industrie aufgebaut.

Nassvliestechnologie nur für Papier? Da geht deutlich mehr!

Dass Innovationssprünge mitunter auch bei altbewährten Verfahren möglich sind, zeigt die Nassvliestechnologie, die seit rund 2000 Jahren bekannt ist und derzeit vor allem in der Papierherstellung zum Einsatz kommt. Fraunhofer IGCW-Wissenschaftlerin Violetta Schumm sieht auch andere Möglichkeiten: »Das Verfahren eröffnet einen Weg, Fasern aus Verbundwerkstoffen wiederzuverwenden.« Faserverstärkte Verbundwerkstoffe sind aufgrund ihres Leichtbaupotenzials in vielen Bereichen im Einsatz, etwa in der Luftfahrtindustrie oder in Windrotorblättern, im Automotive-Bereich oder bei der Herstellung von Sportgeräten. Doch am Ende des Lebenszyklus dieser Produkte steht eine zentrale Frage: Wie können diese Materialien effektiv recycelt werden?

Aktuell ist es möglich, die einzelnen Carbonfasern aus Abfallströmen zurückzugewinnen und aufzubereiten. Die Herausforderung liegt jedoch in der effizienten Weiterverarbeitung dieser recycelten Fasern. Hierbei kommt eine innovative, modifizierte Nassvlies-Pilotanlage im Tech-

nikums-Maßstab am Fraunhofer IGCW zum Einsatz. Vergleichbar zur Papierherstellung werden die rezyklierten Fasern dabei in großen Behältern in Wasser vereinzelt. Die erzeugte Faserdispersion durchläuft mehrere Prozessschritte und wird schließlich auf ein kontinuierlich bewegtes Siebband transportiert, wodurch eine Vliesstoffbahn als Rollenware entsteht. In der Anlage in Augsburg können so Rezyklatfasern mit einer Länge von bis zu 30 Millimetern verarbeitet werden, und das bei einer Produktionsgeschwindigkeit von bis zu 30 Metern pro Minute. Die erzeugten Vliesstoffe kommen als Verstärkungskomponenten in Second-Life-Verbundwerkstoffen zum Einsatz und bieten ein breites funktionelles Eigenschaftsspektrum, beispielsweise in Bezug auf deren elektrische und thermische Leitfähigkeit. Durch die weitere Erforschung



»Das Verfahren eröffnet einen Weg, Fasern aus Verbundwerkstoffen wiederzuverwenden.«

Violetta Schumm, Fraunhofer IGCW

und Entwicklung dieser Prozessroute leistet das Fraunhofer IGCW einen wichtigen Beitrag zur Schließung des Materialkreislaufs und fördert somit wirtschaftlich tragfähige und industriell einsetzbare Recyclingkonzepte.

Roboter demontieren Autobatterien

Das Thema Recycling dominiert auch gerade im Automobilwesen, auf das nach wie vor ein großer Teil der deutschen Wertschöpfung entfällt. Doch der Umstieg aufs E-Auto hat die Verhältnisse auf dem weltweiten Automarkt verschoben; deutsche Hersteller konnten bislang nicht an ihre einstige Führungsrolle anknüpfen. »Ein entscheidender Faktor, um im Wettbewerb bestehen zu können, sind die Verfügbarkeit und Kosten der Rohstoffe, die für Batterien und E-Motoren nötig sind«, erklärt Prof. Alexander Sauer, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. »Umso wichtiger ist es, ausgediente Batterien, die noch wertvolle Rohstoffe enthalten, nicht einfach zu schreddern.«

Die Grundvoraussetzung, um Batteriekomponenten wiederverwenden zu können: Die Bestandteile müssen sortenrein demontiert werden. Im Projekt DeMoBat erarbeiteten zwölf Verbundpartner unter der Koordination des Fraunhofer IPA entsprechende Konzepte und Anwendungen. »Wir haben erstmalig eine großskalige Demontageanlage für Autobatterien aufgebaut«, berichtet Anwar Al Assadi, Wissenschaftler am Fraunhofer IPA. »Kabel trennen, Schrauben lösen und das Fräsen von Schrauben – Roboter führen den gesamten Demontageprozess automatisiert durch.« Nach jedem Demontageschritt kontrollieren Sensoren und 3D-Kamerasysteme das Zwischenergebnis. DeMoBat ist bereits abgeschlossen; derzeit rüsten die Forschenden die Anlage um für die Demontage einer weiteren Komponente aus der Automobilindustrie. Der Ansatz ließe sich zudem auf Elektrogroßgeräte wie Wasch- oder Spülmaschine übertragen. Für Elektrokleingeräte arbeiten die Forschenden

im Projekt Desire4Electronics an Lösungen zum automatisierten Zerlegen.

Vom Sensor in die Cloud

Das Optimum aus den einzelnen Fertigungstechnologien herauszukitzeln ist elementar, wenn das Label »Made in Germany« hochgehalten werden soll – schließlich bilden diese das Rückgrat der Fertigung. Ausreichend ist es nicht. »Die Aufgabe besteht darin, vorhandene Ansätze sinnvoll zusammenzubringen und aus den Einzellösungen ein großes Ganzes zu machen«, bekräftigt Michael Fritz, Leiter der Geschäftsstelle des Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies CCIT. Wie das gelingen kann, untersuchen Forschende des Clusters im Projekt »Edge Cloud Continuum 4 Production«, kurz ECC4P.

Der Ansatz: Durch Vereinigung von Edge und Cloud soll ein durchgehender Datenraum entstehen. Die Rechenleistung wird dann dort erbracht, wo sie am effizientesten und wirtschaftlichsten ist. Edge bezeichnet dabei den Bereich, in dem die Daten entstehen – lokale Sensoren, Maschinen oder Geräte. Insbesondere bei Prozessen, die in Sekundenbruchteilen abgeschlossen sein müssen, besteht die Notwendigkeit, die Rechenleistung und den Speicherplatz dieser Edge zu nutzen. Andere Aufgaben, die langwierig und rechenintensiv sind – etwa das Trainieren einer Künstlichen Intelligenz oder die Durchführung von Simulationen –, erfolgen in der Cloud. Elementar für die dynamische Datenverschiebung zwischen Edge und Cloud ist die Verbindung zwischen ihnen durch sogenannte Datenraum-Konnektoren. Ihre Bedeutung zeigte sich im Projekt »Catena-X«, einer Initiative der deutschen Automobilindustrie, bei der eine gemeinsame Dateninfrastruktur für die gesamte Wertschöpfungskette geschaffen werden sollte. »In Catena-X wurden zahlreiche Technologien entwickelt. Die Kernaussage der Unternehmen jedoch war: Wir brauchen einen Konnektor, der industriefähig ist«, erinnert sich Fritz. Auf Basis des Dataspace Connector IDSC, den Fraun-



»Die Aufgabe besteht darin, vorhandene Ansätze sinnvoll zusammenzubringen und aus den Einzellösungen ein großes Ganzes zu machen.«

Michael Fritz, Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies CCIT

hofer vor Jahren entwickelt hat, entstand zwischen Fachkräften von Fraunhofer und aus der Industrie der Eclipse Dataspace Connector EDC. »Mittlerweile ist der EDC auf dem Weg, Industriestandard zu werden«, fasst Fritz zusammen.

Der Datenraum ist mit dem Connector geschaffen. Um ihn zu füllen, haben die Forschenden verschiedene Sensoriken entwickelt oder Sensoren so miteinander kombiniert, dass sie einen echten Mehrwert erzeugen. Drei generische Anwendungen nahmen sich die Forschenden dabei vor: Zum einen das adaptive Wälzschleifen, das bei der Zahnradherstellung benötigt wird.

Hier wurde eine Körperschallsensorik in das Schleifgerät integriert: Konnte man bisher erst nach dem Einbau des fertigen Zahnrads in ein Getriebe einschätzen, ob der Prozess gut oder schlecht gelaufen ist, lässt sich der Prozess nun direkt bei der Bearbeitung bewerten. Der zweite Sensor löst ein ähnliches Problem bei der Umformung und dem Pressen: Über die Kontrolle des Pressdrucks kann der Ausschuss deutlich reduziert und die Rüstzeit beim Wechsel des Werkzeuges verkürzt werden. Der dritte Sensor überwacht den Bohr- und Fräsprozess, er ist ideal, um alte Maschinen nachzurüsten und sie in die digitale Wertschöpfung einzubinden. Um den Mehrwert der Sensordaten zu vergrößern, werden sie gemeinsam mit den Maschinendaten in einer Edge Cloud lokal analysiert und via EDC in die Cloud geschickt, wo sie zum Training einer Künstlichen Intelligenz genutzt werden. Die gesamte Verarbeitungskette ist nach dem Prinzip einer MLOps-Pipeline aufgebaut, um leistungsfähige und skalierbare KI/ML-Lösungen zu entwickeln und zu betreiben. Für die Sicherheit sorgt das Tool »Clouditor«, das im Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC entwickelt wurde. Fritz: »Den gesamten Ansatz haben wir als Proof-of-Concept für den Schleifprozess bereits umgesetzt. Er ist in allen Produktionen gewinnbringend, in denen gefräst, umgeformt, gebohrt und geschliffen wird – branchenunabhängig und gerade auch als Nachrüstung bestehender Maschinen bestens geeignet.«

Matrixproduktion statt Linienfertigung

So hocheffizient die klassische Linienfertigung auch ist: In puncto Flexibilität hat sie wenig zu bieten. »Gibt es mehrere Produktionslinien, müssen auch selten genutzte Maschinen in allen Produktionslinien und damit mehrfach vorgehalten werden«, sagt Dr.-Ing. Simon Harst, Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer IWU. Er und seine Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer IWU und Fraunhofer IPA wollen dieses starre System durch eine ►

sogenannte Matrixproduktion auflösen. Statt der klassischen Linien schaffen sie Inseln, das Produkt bahnt sich mithilfe von fahrerlosen Transportsystemen selbst den Weg durch die Produktion. »Selten genutzte Anlagen müssen nur einmal vorgehalten werden, auch werden die Anlagen deutlich besser ausgelastet«, erläutert Dr.-Ing. Marcel Todtermuschke, ebenfalls Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer IWU.

Die Produktionsarchitektur, die steuert, wie sich ein Produkt durch die Anlagen bewegt, entstand im Fraunhofer-Leitprojekt SWAP. Teilweise steht diese als Open Source zur Verfügung. In der Forschungsplattform REAL-M, kurz für »Robotics Engineering Application Lab for Matrixproduction«, wird die Matrixproduktion weiterentwickelt – mit dem Ziel der »First-Time-Right-Produktion«, die keinerlei Ausschuss produziert. Bei Infineon konnte mit dem Matrixansatz die Fertigungsdauer von Wafer-Strukturen via Matrixfertigung um etwa 20 Prozent gesenkt werden, wobei der Durchsatz um 50 Prozent gesteigert wurde.

Maschinenbauprobleme mit Künstlicher Intelligenz lösen?

»Made in Germany« langfristig hochhalten zu wollen, bedeutet auch: die Vorteile Künstlicher Intelligenz auszuschöpfen. Welchen Impact KI liefern kann, zeigt das Projekt LeakAir des Fraunhofer IPA. Im Zentrum steht dabei mit der Druckluft ein »Problemkind« der Produktion. Etwa 60 000 Druckluftanlagen laufen in Deutschland, sie machen 7 Prozent des gesamten Stromverbrauchs der deutschen Industrie aus. Allerdings entweicht Schätzungen zufolge etwa ein Drittel der erzeugten Druckluft ungenutzt – und das meist unbemerkt. Die Kosten für diese Verschwendung belaufen sich pro Unternehmen und Jahr schnell auf Zehntausende Euro, von der negativen Klimabilanz ganz zu schweigen.

»Wir wollten den Schmerz sichtbar machen und undichte Stellen automatisiert orten«, beschreibt Daniel Umgelter, Geschäftssegmentleiter am Fraunhofer

IPA. Gemeinsam mit dem Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart und dem Sensorunternehmen SICK hat er eine Detektion entwickelt, bei der ein intelligenter Algorithmus die Leckagen aufspürt. Um ausreichend Trainingsdaten zusammenzutragen, haben die Forschenden eine Maschine mit Löchern versehen, durch die Druckluft entweichen konnte, und zahlreiche Lastgänge nachgefahren. Herausgekommen ist ein Ansatz, den die Firma Sick unter dem Namen LeakAir vertreten wird. »Der Energieverlust könnte mit einer durchgehenden automatisierten Detektion von Leckagen um durchschnittlich etwa zehn Prozentpunkte gesenkt werden«, sagt Umgelter. »Bezogen auf ganz Deutschland ergäbe das eine Einsparung zwischen 80 und 160 Millionen Kilowattstunden pro Jahr. Das entspricht dem durchschnittlichen jährlichen Energieverbrauch von 22 000 bis 45 000 Haushalten.«

Daten gelten dank KI-Technologien als das Gold der Industrie 4.0. In welchem Maß dies zutrifft, konnten Forschende des Fraunhofer IWU im Verbundprojekt EmulDan (kurz für »Energieeffizienz in der Produktion durch multivalente Datennutzung«) eindrucksvoll belegen. Durch ein besseres Prozessverständnis ließ sich etwa bei Rundknetanlagen, die zur Produktion von Leichtbauteilen zum Einsatz kommen, der Energieverbrauch um bis zu 70 Prozent reduzieren. Beim Presshärten, das die Vorteile der Umformung und der Wärmebehandlung in einem Schritt kombiniert, deckten hybride Prozessmodelle auf Basis des Digitalen Zwillings, also in einer dynamischen virtuellen Abbildung des Prozesses, Energieeinsparpotenziale von bis zu 20 Prozent auf.

Möglich wurden diese Quantensprünge, da man bei zahlreichen Prozessen noch immer ein Stück weit im Dunklen tappt. Daten werden zwar erhoben, ihr Potenzial bleibt jedoch vielfach ungenutzt. Und so werden Schleifscheiben viel zu früh gewechselt, dünnere Bleche für das Umformen mit unnötig viel Energie erhitzt. Um dies zu ändern, brachten die Forschenden

Sensoren in Bereiche ein, in denen das zuvor nicht möglich war, etwa in rotierende Bauteile bei der Zerspanung. Dort messen Dehnungsmessstreifen die Verformung des Werkzeugs in drei Achsen im Mikrometer-Bereich und übertragen die Daten drahtlos nach außen. Der Großteil der Entwicklungsarbeit lag jedoch in der Zusammenführung der Daten aus den unterschiedlichen Quellen und ihrer Auswertung per Künstlicher Intelligenz. »Die Ergebnisse der KI-Analyse nutzen wir, um die Maschinen automatisch zu steuern und an die tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen«, sagt Stefan Polster, Gruppenleiter Blechbearbeitung und Werkzeugauslegung am Fraunhofer IWU.

Dokumentation und Informationssuche? Übernimmt die KI!

Die Künstliche Intelligenz kann auch lästige und zeitraubende Arbeiten übernehmen, die der Wertschöpfung entgegenstehen. 25 Prozent und mehr Arbeitszeit verpuffen Studien zufolge bei solchen Tätigkeiten, zu denen etwa die Suche nach Informationen oder die Dokumentationspflicht gehören. Die Antwort des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK: ein KI-Produktionsassistent, der auf einem generativen Sprachmodell basiert, das auch ChatGPT zugrunde liegt. »In Unternehmen herrscht eine heterogene IT-Landschaft vor. Mitarbeitende müssen mit einer Vielzahl von IT-Systemen interagieren, wodurch ihre Arbeitsweise unweigerlich fragmentiert wird«, weiß Prof. Julian Polte, Geschäftsfeldleiter am Fraunhofer IPK. »Wir wollen diese durch einen persönlichen virtuellen Assistenten für Mitarbeitende ersetzen, der benötigte Informationen automatisch bereitstellt und komplexe repetitive Aufgaben übernimmt. Wir erwarten einen erheblichen Produktivitätsgewinn.« Exemplarische Anwendungen werden bereits heute erfolgreich in die Industrie überführt – und leisten damit ihren Teil zur Zukunftssicherung von »Made in Germany«. ■

»Der Energieverlust könnte mit einer durchgehenden automatisierten Detektion von Leckagen um durchschnittlich etwa zehn Prozentpunkte gesenkt werden.«

Daniel Umgelter, Fraunhofer IPA



Verluste verhindern:
Daniel Umgelter vom Fraunhofer IPA unterstützt die Industrie mit der intelligenten Detektion von Leckagen.

Interview

Daniel Günther, 51, ist seit 2017 Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein.



»Forschung ist einer unserer wichtigsten Rohstoffe«

Fraunhofer und Daniel Günther verbindet eine gemeinsame Freude – und die hat nicht nur mit einem Scheck zu tun. Anwendungsorientierte Forschung gibt dem Ministerpräsidenten von Schleswig-Holstein neuen Optimismus. Und jene Zuversicht, die Deutschland gerade häufig fehlt.

Interview: Josef Oskar Seitz

_____ **Herr Günther, jetzt einmal Hand aufs Herz: Wie fühlt es sich an, einen Förderbescheid über 23,8 Millionen Euro zu überreichen?**

Das ist schon etwas Besonderes, das macht man nicht jeden Tag. Und es gehört zu den Aufgaben eines Ministerpräsidenten, die sehr viel Freude machen. Gerade in der derzeit angespannten Haushaltslage, da sind solche hohen Fördersummen die Ausnahme. Umso mehr freut es mich, dass wir damit erneut eine erstklassige anwendungsorientierte Forschung unterstützen. In Lübeck werden zurzeit medizinische Zukunftsvisionen wahr, von der unsere Wirtschaft in Schleswig-Holstein, Deutschland und Europa profitieren wird. Da es sich in diesem Fall um ein Verbundprojekt mit der Wirtschaft handelt, ist der Transfer in Produkte und Dienstleistungen ja sogar schon angebahnt. Und die Fraunhofer IMTE wird damit in die Lage versetzt, von der Einrichtung zum Institut aufzusteigen.

_____ **Sie haben die Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Lübeck besucht. Welchen Eindruck haben Sie mitgenommen?**

Was die Fraunhofer IMTE in Lübeck im Bereich der KI-gestützten Medizintechnik leistet, ist beeindruckend und ein gutes Beispiel dafür, warum Fraunhofer in Schleswig-Holstein und in Deutschland zu einer solchen Erfolgsgeschichte geworden ist: Die Fraunhofer IMTE zieht Top-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler an sowie viele Menschen, die Lust dazu haben, den Forschungs- und Wissenschaftsbereich voranzubringen. Die Einrichtung vernetzt sich mit den Hochschulen in der Region ebenso intensiv wie mit KMU und Großunternehmen. Im Ergebnis werden in Lübeck hoch innovative technologische Plattformen entwickelt, die in der medizinischen Anwendung unsere Gesundheitsversorgung konkret und sehr effektiv verbessern können. Das konnte ich beispielsweise anhand der neuen Verfahren in der Bildgebung und OP-Robotik selbst erleben. Zu sehen, dass an Lösungen gearbeitet wird, die Diagnostik und auch Eingriffe in Zukunft noch präziser, sicherer und weniger invasiv machen, hat mich sehr optimistisch gestimmt.

_____ **Warum ist Forschung für Deutschland so wichtig?**

Forschung schafft die Grundlagen für Innovation. Sie ist einer der wichtigsten Rohstoffe in Deutschland, um technologisch und auch wirtschaftlich an der Spitze zu bleiben. Ich sage übrigens ganz bewusst »bleiben«, weil mir der Standort oft zu schlecht geredet wird. Unsere Forschung an Hochschulen, aber auch in den großen Forschungsge-

»Nicht alle haben den Transfer schon in der DNA – wie Fraunhofer.«

Daniel Günther

meinschaften ist auf einem Top-Niveau. Wir müssen nur den Transfer manchmal etwas besser und dynamischer gestalten. Das macht Fraunhofer ja auf beispielhafte Art und Weise. Hier findet Grundlagenforschung auf weltweit höchstem Niveau statt und gleichzeitig wird eine mögliche Anwendung und damit der Transfer schon mitgedacht. Das sollte auch in der deutschen Forschungspolitik richtungsweisend sein.

_____ **Wo sehen Sie Defizite in der Förderpolitik?**

Zum einen glaube ich, dass wir Innovationen mehr Chancen verschaffen sollten, sich auch durchsetzen zu können – und damit meine ich natürlich vor allem den staatlich geförderten Wissenschaftsbereich. Dort bräuchte es aus meiner Sicht mehr Entrepreneurship und Ideenmanagement. Ideen auch für große, strukturverändernde Innovationen werden ja nicht immer von den größten Forschungseinheiten, sondern auch von einzelnen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern oder kleinen Gruppen hervorgebracht. Ich bin nicht sicher, ob jede gute Idee automatisch auch das Licht der Welt erblickt. Dabei könnte zum Beispiel ein System aus einfachen Mikroförderungen helfen. Zum anderen sollten wir auch bei großen Forschungsvorhaben Mittel für den Transfer einbauen und Förderempfänger dazu noch stärker verpflichten. Nicht alle haben den Transfer schon in der DNA, wie Fraunhofer.

_____ **Wir erleben eine verunsicherte Gesellschaft unter dem Eindruck, dass die Probleme immer zahlreicher werden. Kann die angewandte Forschung da auch einen Beitrag zu Stabilisierung, zu Zuversicht und zu einem Aufbruch liefern?**

Ja, davon bin ich überzeugt. Aber die Forschung muss sich noch mehr als bisher öffentlich vernetzen und zeigen, welchen Beitrag sie leisten kann, zum Beispiel für mehr gesellschaftliche Resilienz, ►



Herkules im Rücken

Der junge Daniel Günther läuft sich warm – vom JU-Kreisvorsitzenden über den CDU-Kreisvorsitz hinauf zum Ministerpräsidenten.



Unter Geiern

Nicht nur bei den Karl-May-Spielen in Bad Segeberg ist Günther auch bereit, die Waffen zu zücken.



Ein stimmiges Paar

Daniel Günther und Ehefrau Anke auf dem Weg zum Wahllokal 2022. Das Ehepaar hat zwei Töchter.



Erst die Pflicht, dann die Kür

Kleiderwechsel: Gleich nach einem Talkshow-Auftritt belohnt sich Daniel Günther als Fußball-Fan mit einem Stadionbesuch.

bessere technologische Lösungen oder digitale Souveränität. Angewandte Forschung kann dazu beitragen, wirtschaftlichen Herausforderungen oder dem Klimawandel zu begegnen. Das müssen wir besser kommunizieren, in Wirtschaft und Gesellschaft. Das Gefühl, auch auf die großen Probleme und Krisen kluge Antworten finden zu können, würde uns sicher zuversichtlicher stimmen.

Haben Sie ein Beispiel dafür?

Gerade in Schleswig-Holstein gibt es dafür viele konkrete Beispiele. Wir setzen hier auf Wasserstofftechnologie, damit Deutschland zum Vorreiter in der Produktion und Anwendung von grünem Wasserstoff wird. Bei uns im Land spielt KI bereits seit Jahren eine große Rolle, weil wir uns dessen bewusst sind, dass KI und Digitalisierung den Standort wettbewerbsfähig machen und in Zukunft noch wichtiger werden. Deswegen haben wir beispielsweise einen KI-Transfer-Hub mit mehreren Millionen Euro Fördergeld eingerichtet. Wir setzen auch auf die Batteriezellen-Entwicklung und Biotechnologie in Schleswig-Holstein. All das zeigt, dass wir mit der angewandten Forschung den Wandel gestalten können und sie von enormer wirtschaftlicher Bedeutung ist.

Was fehlt uns gerade, um den Zusammenhalt der Gesellschaft wieder zu stärken?

Uns fehlt insbesondere die Zuversicht. Das liegt natürlich an den verschiedenen Krisen, der schwierigen wirtschaftlichen Situation in Deutschland, der Ungewissheit, wie sich die weltpolitische Lage weiterentwickelt, oder den Herausforderungen im Bereich der inneren Sicherheit und Migration. Aber auch die gescheiterte Ampelkoalition mit ihrem Dauerstreit trägt daran ihren Anteil. Nach der Bundestagswahl ist es jetzt an Union und SPD, ihrer staatspolitischen Verantwortung nachzukommen, eine stabile Regierung zu bilden und die großen Aufgaben anzupacken. Sie müssen unser Land verteidigungsbereit machen, die Infrastruktur in Ordnung und die Wirtschaft auf Kurs bringen und damit wieder für echten Zusammenhalt in Deutschland sorgen.

Ich habe ein schönes Zitat von Ihnen gefunden. »Die Antwort auf das Erstarken der politischen Ränder darf nicht sein«, sagen Sie, »dass die demokratischen Parteien ihren Streit untereinander verschärfen.« Wie schauen Sie da auf den Wahlkampf zurück?

Leider nicht als leuchtendes Beispiel. Ich hätte mir gewünscht, dass der Wahlkampf weniger hitzig geführt worden wäre. Die Auseinandersetzungen waren teilweise schon deftig. Das hat zu einer starken Polarisierung geführt. Dabei gab es einige Themen, über die es sich gelohnt hätte zu streiten. Diese Art der Auseinandersetzung kommt bei den Wählerinnen und Wählern der demokratischen Mitte nicht gut an.

Unstrittig ist, dass Deutschland und Europa nach der Wiederwahl des US-Präsidenten Trump mehr in die eigene Sicherheit investieren müssen. Gleichzeitig wird an Forschungsmitteln für Verteidigungsprojekte gespart. Wie lässt sich dieser Widerspruch lösen?

Die letzten Wochen seit dem Amtsantritt von Donald Trump sollten auch dem Letzten in unserem Land dafür die Augen geöffnet haben, dass Europa selbst für seine Sicherheit sorgen muss. Wir müssen Deutschland wieder verteidigungsbereit machen, daran gibt es keinen Zweifel. Dafür müssen Union und SPD jetzt den Weg bereiten. Wir können es uns nicht mehr leisten, bei den Verteidigungsausgaben zu sparen. Das gilt auch für den Forschungsbereich.

Sie sagen: »Die Verteidigung hat absolute Priorität.« Riskieren wir zugunsten der äußeren Sicherheit die innere Sicherheit, wenn Mittel für Soziales fehlen?

Das eine schließt das andere nicht aus. Neben der großen Aufgabe, die äußere und innere Sicherheit zu gewährleisten, hat die Wirtschaft strikten Vorrang. Von einer positiven Wirtschaftslage profitieren letztlich alle Menschen, weil sie zu höheren Steuereinnahmen führt und damit zu einer besseren finanziellen Situation des Landes. Das ermöglicht uns wiederum mehr Handlungsspielräume bei den Ausgaben und Investitionen für Bildung, Verkehr und den sozialen Zusammenhalt.

Seit 2013 leben die glücklichsten Deutschen in Schleswig-Holstein. 2024 haben Sie diese schöne Spitzenposition ausgerechnet an den Nachbarn Hamburg verloren. Wie um Himmels Willen konnte das nur passieren?

Ich kann es mir nur so erklären, dass unsere gelassene, weltoffene Art in Schleswig-Holstein ganz offensichtlich auf unseren Nachbarn im Süden abgefärbt hat und sich das auf die Zufriedenheit der Menschen in Hamburg auswirkt. Unsere beiden Länder ergänzen sich hervorragend und uns verbindet eine so enge und gute



»Wir können es uns nicht mehr leisten, bei den Verteidigungsausgaben zu sparen. Das gilt auch für den Forschungsbereich.«

Daniel Günther

Zusammenarbeit, dass wir da auch gönnen können. Zumal wir im echten Norden dieses Ranking ja seit dessen Einführung durchgehend angeführt hatten. Aber genau deswegen ist natürlich klar, dass wir den Spitzenplatz in diesem Jahr zurückerobern wollen.

Und dann hat Sie auch noch ausgerechnet Markus Söders Bayern auf Platz 2 überholt. Wie gehen Sie damit um?

Na ja, Moment – Bayern und Schleswig-Holstein sind gleichauf auf Platz 2! Und es ist doch eine tolle Nachricht, dass unsere beiden schönen Länder etwas gemeinsam haben. Wo sie doch gegensätzlicher nicht sein könnten mit Bergen und Meer, Weißwurst und Fischbrötchen, Markus Söder und mir ...

Voller Selbstbewusstsein erfahre ich von Ihnen: »Ich bin Norddeutscher, schon mein ganzes Leben lang.« Erklären Sie mir doch bitte einmal: Was unterscheidet den Norden und den Süden in den Köpfen und den Herzen und dem Zugang zur Politik?

Das stimmt, ich bin nie aus Schleswig-Holstein weggezogen und ich liebe Norddeutschland. Aber ich mache sehr gerne Urlaub in den Bergen, das ist für mich ein schöner Kontrast zu meiner Heimat. Es zieht mich zwar meist nach Österreich, aber ich mag auch Süddeutschland sehr gerne. Wie die Menschen dort ticken, können Ihnen meine Kollegen Winfried Kretschmann und Markus Söder aber besser erklären. Bei uns im

Norden schätze ich es sehr, dass die Leute so bodenständig und zugewandt sind und sich durch eine große Gelassenheit auszeichnen. Das prägt unser Land und uns Nordlichter. Wir lassen uns nicht so schnell aus der Ruhe bringen – und bei uns schwingt immer eine Prise Optimismus mit.

Regierungsbildungen sind schwierig geworden in der Demokratie. Sind Sie heimlich ein Freund der Monarchie? Zumindest schwärmen Sie vom Amt des Oldenburger Grünkohlkönigs, zu dem Sie am 10. März ernannt wurden.

Ich freue mich in der Tat, dass ich zur neuen Oldenburger Grünkohlmajestät ernannt wurde und habe mir vorgenommen, in dem Amt möglichst viel für die niedersächsische und schleswig-holsteinische Kohl-Koalition zu erreichen. Aber im Ernst: Wir grenzen ja an Skandinavien mit dessen Königshäusern an und haben dafür in Schleswig-Holstein ein gewisses Verständnis, teilweise sogar eine Affinität dazu. Das haben wir im vergangenen Herbst erlebt, als das dänische Königspaar bei uns zu Besuch war und viel Begeisterung bei den Menschen ausgelöst hat. Eine Monarchie kann durchaus etwas zur Identifikation und zum Zusammenhalt einer Gesellschaft beitragen. Trotzdem halte ich die parlamentarische Demokratie ohne Zweifel für die beste aller Staatsformen und ein großes Geschenk, das uns die Alliierten nach dem Zweiten Weltkrieg gemacht haben. Das gilt es für uns zu bewahren, in den heutigen Zeiten mehr als je zuvor. ■



Wehrhaft

Verteidigungsbereitschaft fordert der Ministerpräsident – auch bei einem Besuch der Rüstungsindustrie in Schleswig-Holstein.



Das war knapp

Durchschnaufen am Sonntag der Bundestagswahl: Es reicht für eine Regierungskoalition mit der SPD.



Beleidigungsfasten!

Mit Markus Söder verbindet Günther eine heftige Parteifreundschaft. Für die Fastenzeit 2025 hat er dem CSU-Kollegen eine sehr spezielle Enthaltensamkeit empfohlen.



Heute ein König

Als frisch gewählter Grünkohlkönig raubt Günther der SPD und Boris Pistorius den Thron. Die Vorgänger weisen den Weg nach ganz oben: Helmut Schmidt, Helmut Kohl und Angela Merkel.

Lust aufs Land

Beinahe 60 Prozent der Deutschen leben in ländlichen Regionen. Mit einer Online-Plattform will ein Fraunhofer-Team der Landflucht entgegenwirken. Der Bedarf ist groß: Das Projekt ist auf dem Weg zum Start-up.

Von Yvonne Weiß

Warten bei jedem Wetter:
Bis der nächste Bus kommt,
muss man sich auf dem
Land oft länger gedulden.



Wiesen leuchten in sattem Grün, die Luft duftet nach frisch gemähtem Gras, die Glocke einer Kuh läutet – das Leben auf dem Land sieht idyllisch aus. Doch die Realität ist oft anders. Der Bus? Fährt nur zwei Mal am Tag. Die Straßen? Leer. Der Laden um die Ecke? Schon lange geschlossen.

Mit dem Projekt »Digitale Dörfer« möchte das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern dem entgegenwirken und ländliche Regionen stärken – dank Digitalisierung. Dafür haben Dr. Matthias Berg, Dominik Magin und Steffen Heß vom Fraunhofer IESE die Online-Platt-

form Digitale Dörfer ins Leben gerufen: »Wir bieten Lösungen rund um Themen wie Nahversorgung, Ehrenamt und Kommunikation und vernetzen die kommunale Verwaltung mit den Bürgerinnen und Bürgern«, erklärt Matthias Berg, Leiter der Abteilung Smart City Design. »So möchten wir Dörfer beleben – und die Lebensqualität der Menschen vor Ort steigern.«

Aufgrund des großen Interesses steht das Projekt kurz vor der Ausgründung: Gemeinsam mit der Versicherungskammer Bayern und der Deutschen Assistance Shared Services möchten die Forschenden des Fraunhofer IESE das Joint Venture Smartes Land GmbH ins Leben rufen.

Die Digitale-Dörfer-Plattform funktioniert wie ein Baukastensystem: Nutzerinnen und Nutzer erhalten Zugriff auf verschiedene digitale Dienste in der Region. Services, die im Projekt bereits erprobt wurden, reichen von einem regionalen Online-Shop, der lokale Geschäfte unterstützt, über einen ehrenamtlichen Lieferservice unter Nachbarn bis hin zu Mitfahrgelegenheiten für mehr Mobilität und Flexibilität.

Das Herzstück der Digitalen Dörfer ist der DorfFunk: In dieser App können sich Bürgerinnen und Bürger gegenseitig Hilfe anbieten, sich über anstehende Veranstaltungen austauschen oder sich einfach vernetzen. Auch zur Gemeindeverwaltung



Heute nutzen die
Services fast
300 000
Menschen
über zwölf Bundes-
länder hinweg.

ermöglicht der DorfFunk einen direkten Draht: Mängel wie kaputte Spielgeräte lassen sich unkompliziert melden; die Gemeinde kann wiederum relevante Meldungen mittels Push-Benachrichtigungen schnell an die Dorfgemeinschaft übermitteln. Zudem lassen sich Inhalte mittlerweile automatisiert teilen, was die Arbeit der Kommunen erleichtert. Eine zentrale technische Herausforderung bestand hierbei darin, digitale Angebote, die in ländlichen Regionen bereits existierten, in die Digitale-Dörfer-Plattform einzubinden.

»Das Besondere an unserer Plattform ist, dass sie den Fokus auf regionale Kommunikation legt«, erklärt Dominik Magin, Geschäftsfeldmanager für den Bereich

Smart City am Fraunhofer IESE. »Die Bürgerinnen und Bürger können selbst entscheiden, in welchem Radius sie sich vernetzen möchten – und bekommen alle relevanten Informationen für dieses Gebiet gebündelt zugespielt.«

Das Projekt begann vor zehn Jahren mit drei Testgemeinden in Rheinland-Pfalz; heute nutzen die Services fast 300 000 Menschen über zwölf Bundesländer hinweg. Für Matthias Berg trägt vor allem der Fokus auf die regionale Kommunikation dazu bei, dass auch ältere Menschen von den digitalen Angeboten überzeugt sind. Es schaffe Vertrauen, wenn man den Großteil der anderen User und Userinnen bereits kenne. Zudem ist die Anwendung nicht

nur kosten- und werbefrei, sondern unterliegt auch strengen Datenschutzrichtlinien und wird ausschließlich in Deutschland betrieben.

Matthias Berg, Dominik Magin und Steffen Heß freuen sich über den Erfolg ihrer Plattform: »Ich fand es toll, während des Projekts in den Testgemeinden vor Ort zu sein und mitzubekommen, wie gut die Digitalen Dörfer bei den Menschen ankommen«, so Steffen Heß, Hauptabteilungsleiter des Bereichs Digital Innovation & Smart City am Fraunhofer IESE. »Gerade ältere Menschen waren häufig so dankbar dafür, dass die Plattform ihren Alltag erleichtert – das waren meine schönsten Momente im Projekt.« ■

NATO im Dauerkontakt

Wie kann man bei einer Funkübertragung gleichzeitig senden und empfangen? Jetzt haben Fraunhofer-Forschende eine Lösung gefunden. Die Technik wurde mit einem »Excellence Award« der NATO ausgezeichnet.

Von Mehmet Toprak

»Diskutiert wird das schon lange in Expertenkreisen. Doch bisher ist es nie gelungen, die Idee zu realisieren.«

Prof. Marc Adrat,
Fraunhofer FKIE

Zwei Menschen sprechen miteinander. Doch sie sind durch einen Fluss getrennt. Damit sie einander verstehen, sprechen sie nicht nur lauter, sondern auch abwechselnd. Sonst würde die eigene laute Stimme die leise Stimme von der anderen Seite des Flusses übertönen.

Nicht anders ist es im Funkverkehr. Man spricht abwechselnd und drückt dabei jeweils eine Push-to-Talk-Taste. Das Wort »Roger« signalisiert, dass man verstanden hat, »over«, dass man fertig ist, und »out«, dass man das Gespräch beendet. Sprechen die Funkpartner gleichzeitig, überlagert das ausgehende Funksignal das deutlich schwächere eingehende Signal.

Ein Forscherteam vom Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE hat nun gemeinsam mit Projektpartnern die Technik »In-Band Full-Duplex« für besonders herausfordernde Einsatzzwecke im militärischen Bereich weiterentwickelt. Sie ermöglicht, dass beide Gesprächspartner gleichzeitig senden und empfangen. Das gilt ebenso, wenn die Funksignale keine Worte, sondern Daten übermitteln. Das Projekt wurde von einer Forschungsgruppe der NATO mit Wissenschaftlerinnen und Wissen-

schaftlern aus Finnland, Belgien, England, USA, Estland, den Niederlanden und Deutschland vorangetrieben.

Signaldämpfung in zwei Stufen

Der Ansatz der Forschenden: Im Empfangsmodus wird das eigene ausgehende Signal herausgerechnet, sodass das gleichzeitig ankommende Signal der Gegenseite nicht überlagert beziehungsweise gestört wird. Die Idee ist einfach, die Lösung komplex.

»Diskutiert wird das schon lange in Expertenkreisen. Doch bisher ist es nie gelungen, das zu realisieren«, erklärt Projektleiter Prof. Marc Adrat. Die Fraunhofer-Forschenden haben das Konzept deshalb mit den Partnern der NATO-Gruppe weiterentwickelt. Matthias Tschauner, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer FKIE, erklärt: »Das Herausrechnen erfolgt in zwei Stufen. Nachdem das eingehende RF-Signal (Radiofrequency) von der Antenne empfangen wurde, geschieht dies in der ersten Stufe mithilfe analoger Hardware. Das eigene störende Signal ist dann bereits deutlich schwächer. Das Übrige besorgt die digitale Prozessierung des Signals. Algorithmen rechnen den Rest des eigenen Signals aus dem Empfangskanal heraus. Die

Stimme des Gegenübers wird damit deutlich hörbar.« So macht »In-Band Full-Duplex« erstmals möglich, was bisher unmöglich schien: auf einer Frequenz gleichzeitig zu senden und zu empfangen.

Schutz gegen Drohnen und Sprengfallen

Als Anwendungsbereiche haben die Forschenden vor allem den Kernauftrag der Bundeswehr zur Landes- und Bündnisverteidigung im Blick – so etwa das Erkennen von Drohnen und das Stören ihrer Steuersignale. Geräte mit dieser Technik können die Funksignale, die die jeweilige Drohne steuern, gleichzeitig empfangen und stören beziehungsweise neutralisieren: Drohnenabwehr in Echtzeit, ohne ständige Unterbrechungen durch den bislang erforderlichen Wechsel von Sende- und Empfangsmodus.

Auch im Bereich Fahrzeugschutz lässt sich die Funktechnik einsetzen. Oftmals werden in Kriegsgebieten Fahrzeuge durch per Funk ausgelöste Sprengfallen angegriffen. Mit »In-Band Full-Duplex« lassen sich die lebensbedrohlichen Funkimpulse kontinuierlich erkennen und ohne Zeitverlust Gegenmaßnahmen ergreifen.

Ein grundlegender Vorteil der Technik zeigt sich überall da, wo viel gefunkt wird. Denn Duplex-

Funk verdoppelt durch das gleichzeitige Senden und Empfangen auf einem Kanal den Datendurchsatz. Prof. Adrat: »Egal, ob Satellitenkommunikation, die Kommunikation von Flugzeugen oder die Einbindung von selbstfahrenden Autos ins Verkehrsgeschehen – Frequenzen sind ein knappes Gut. Mit In-Band Full-Duplex lassen sich die knappen Frequenzen besser ausnutzen.«

Tschauner lobt die Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen aus den unterschiedlichen Ländern: »Das hat Spaß gemacht. Besonders die Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen aus Belgien war sehr fruchtbar. Ihre Aufgabe war es, die Signalverarbeitung in der Software weiterzuentwickeln – und unsere, die passenden Platinen und Antennen zu bauen.«

Für ihre Arbeit haben die Fraunhofer-Forschenden jetzt eine hohe Auszeichnung erhalten: Prof. Adrat, sein Abteilungsleiter Dr. Markus Antweiler und Tschauner wurden mit dem »NATO Information Systems Technology (IST) Panel Team Excellence Award« geehrt.

Expertinnen und Experten sind sicher, dass sich die Technik in einigen Jahren im NATO-Einsatz, im Zivilschutz und anderen Szenarien durchsetzen wird. Spätestens dann gilt für die klassische Funktechnik: »Over and out«. ■

Auch für die Abwehr von Drohnen oder Sprengfallen ist die preisgekrönte Funktechnik einsetzbar.



Problemlos kommunizieren im Feld: »In-Band Full-Duplex« eröffnet neue Möglichkeiten in der Funktechnik.

Natürlich nachhaltig

Wir leben schon lange über unsere Verhältnisse. Die Ausbeutung der ökologischen Ressourcen übersteigt die Regenerationsfähigkeit der Erde. Höchste Zeit für einen grundlegenden Wandel.

Von Dr. Monika Offenberger

Drill, Baby, drill« tönt es aus den USA, wo man immer noch und immer mehr Erdöl aus dem Boden holen will. »Dabei wissen wir alle, dass das nicht ewig so weitergehen kann. Selbst Ölstaaten wie Saudi-Arabien investieren schon längst in erneuerbare Energiequellen und nachhaltiges Wirtschaften«, sagt Prof. Alexander Böker, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam. Der Co-Sprecher des Strategischen Forschungsfelds Bioökonomie (FSF) setzt auf skill statt drill: »Wir wollen die vielseitigen Kompetenzen innerhalb der

Fraunhofer-Gesellschaft bündeln, um den Wandel in Richtung biobasierter Kreislaufwirtschaft voranzutreiben.«

Die Aufgabe ist gewaltig. »Um Bioökonomie, also ein nachhaltiges Wirtschaften, in die Umsetzung zu bringen, sind Innovationen in allen Bereichen gefragt. Denn natürliche Rohstoffe zeigen viel mehr Varianz als chemische oder synthetische Materialien. Das muss bei allen Verarbeitungs- und Umsetzungsprozessen entweder präzise erfasst und berücksichtigt werden – oder die Verfahren, Formulierungen und Anlagen müssen entsprechend adaptiv, mindestens aber intelligent sein«, erklärt

Prof. Andrea Büttner, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising und stellvertretende FSF-Bioökonomie-Sprecherin. Und sie ergänzt: »Dazu braucht es neue Maschinen, neue Produktionsanlagen und neue Sensortechnologien, die man flexibler und kombinatorischer einsetzen muss. Außerdem muss man neue natürliche Ressourcen wie beispielsweise Schilf oder Seggen erschließen, aus deren Biomasse sich unter anderem Dämmstoffe oder Verpackungen herstellen lassen – und deren Nutzung zusätzlich dabei helfen kann, Moore und andere Ökosysteme zu regenerieren.«



Nur selten werden Umweltvergehen so deutlich: Der argentinische »Blutfluss« machte im Februar weltweit Schlagzeilen.

Genau hier liegen die Stärken der Fraunhofer-Gesellschaft. Das Kompetenz-Portfolio reicht von Smart Farming und Live Sciences über Biomaterialien und -verfahrenstechniken bis hin zu neuen Recycling-Technologien. »Mehr als die Hälfte unserer 75 Institute beschäftigt sich schon seit Jahrzehnten mit Themen der Bioökonomie«, betont Alexander Böker: »Allein seit 2016 sind mehr als 200 Forschungs- und Industrie-Projekte realisiert worden. Hier haben wir Lösungsansätze für globale Herausforderungen erarbeitet und geben wichtige Impulse für eine Stärkung des deutschen Wirtschaftsstandortes.« Das Er-

»Mehr als die Hälfte unserer 75 Institute beschäftigt sich schon seit Jahrzehnten mit Themen der Bioökonomie.«

Prof. Alexander Böker,
Fraunhofer IAP

folgsrezept heißt Synergie: zwischen Fraunhofer-Instituten und externen, nationalen und internationalen Partnern.

Zum Beispiel im Projekt VITAL. Unter finnischer Leitung sind daran drei Fraunhofer-Institute und elf weitere Organisationen aus sieben EU-Ländern beteiligt. Ziel der gemeinsamen Anstrengungen sind neuartige Prozesse zur Verarbeitung von geschäumten biobasierten Thermoplasten, also durch Wärme verformbare Kunststoffe. Neben modifizierten Spritzguss- und Perlenschaum-Verfahren wird eine weltweit einzigartige Innovation erprobt: ein radiofrequenzbasierter 3D-Druckprozess. ►

»Dieses kontaktlose Verfahren kommt ohne Wasserdampf aus. Trotzdem wird das Material beim Austritt aufgeschäumt und lässt sich dabei sehr individuell formen«, erklärt Verfahrenstechniker Robert Lang vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. So ließen sich künftig auch Biokunststoffe wie Polylactid (PLA) oder thermoplastisches Polyurethan (TPU), die durch Hitze und Wasser angegriffen werden, zu geschäumten Werkteilen und Dämmmaterialien formen. Das könnte neben Rohstoffen auch viel Gewicht im Endprodukt einsparen, was sich insbesondere im Automobilbereich rechnet. Allerdings wolle man sich nicht auf einzelne Kunststoffe reduzieren, sondern in die Zukunft denken, betont Lang: »Aus unseren Erfahrungen mit bestimmten Biopolymeren generieren wir eine umfangreiche Datenbasis, um daraus Erkenntnisse für andere, womöglich heute noch gar nicht bekannte Materialien abzuleiten.«

Biopolymere stehen auch im Fokus des Projekts NaMoKau, konkret: ein synthetischer Kautschuk mit einstellbaren viskoelastischen Eigenschaften. Derzeit werden die drei Hauptkomponenten von Synthesekautschuk – die Monomere Butadien, Styrol und Isopren – überwiegend aus Erdöl gewonnen. »Wir wollen Styrol durch biobasiertes Dimethylbutadien ersetzen und damit einen Synthesekautschuk mit einzigartigen mechanischen und thermischen Eigenschaften schaffen, die sich je nach Anwendung gezielt anpassen lassen«, erklärt Dr. Ulrich Wendler, Polymerexperte am Fraunhofer IAP. Die beteiligten Fraunhofer-Institute bilden die gesamte Wertschöpfungskette ab: Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT arbeitet an der Herstellung der biobasierten Monomere, insbesondere an Dimehylbutadien, das bisher nicht im technischen Maßstab verfügbar ist. Am Fraunhofer IAP werden die Monomere zu Kautschuk synthetisiert. Dessen Vulkanisation, also die Weiterverarbeitung zu Gummi, erfolgt am Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS. Alle Forschungsteams erhalten Unterstützung durch das Fraunhofer-Institut

für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, das mittels datengestützter Simulationen die Versuchsplanung und -bewertung optimiert.

Auch im Ernährungssektor beweist das interdisziplinäre Team Fraunhofer, wie es den Einfallsreichtum der Natur durch intelligente Ingenieurs- und Naturwissenschaft nachhaltig nutzen kann. Das Spektrum reicht von einer besseren Verwertung

»Aus unseren Erfahrungen mit bestimmten Biopolymeren generieren wir eine umfangreiche Datenbasis, um daraus Erkenntnisse für andere, womöglich heute noch gar nicht bekannte Materialien abzuleiten.«

Robert Lang, Fraunhofer ICT

etablierter Ackerpflanzen über die Kultivierung heimischer Wildkräuter bis zum Anbau von Meeresalgen. Am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna hat man eine alternative Verwertung von Raps entwickelt, die nun in einer Pilotanlage erprobt wird. Durch die herkömmliche Pressung der Rapssaat werden die Proteine im Rapsmehl denaturiert und damit unverdaulich. Außerdem bleibt immer noch relativ viel Öl im Mehl, das man mit Hexan extrahiert, einem aus Erdöl gewonnenen und zudem giftigen Lösungsmittel. Gruppenleiter Dr. Robert Hartmann nennt die Vorteile des neuen Verfahrens: »Wir arbeiten mit Ethanol, einem nachhaltigen und ungiftigen Lösemittel. Damit gewinnen wir nach vorherigem Schälen der Rapssaat ein Mehl mit mehr als 50 Prozent hochwertigen Proteinen, das sich sowohl zu Tierfutter als auch zu Lebensmitteln verarbeiten lässt

und eine heimische Alternative zu importiertem Soja darstellt.« Aus dem Rapsöl könne man außerdem Sinapin, einen hochpreisigen Grundstoff der Kosmetikindustrie, und Lecithin, ein begehrtes Nahrungsergänzungsmittel, isolieren, so Hartmann. Entsprechend groß ist das Interesse von Ölmühlenbetreibern und -herstellern an der Innovation aus Leuna.

Am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME setzt man, im Verbund mit dem Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, dem Forschungszentrum Jülich und dem Fraunhofer UMSICHT, ebenfalls auf heimische Pflanzen – jedoch auf solche, die ohne Zutun des Menschen in Feld und Flur wachsen und auch mit kargen Böden zurechtkommen. Genügsame Wildpflanzen könnten, so die Vision, durch den Braunkohleabbau ausgelaugte Flächen renaturieren helfen und dem Anbau anspruchsvollerer Nutzpflanzen buchstäblich den Boden bereiten. »Die Nachtkerze kann mit ihren starken Wurzeln verdichtete Böden auflockern und später als Gründüngung untergepflügt werden«, erklärt Dr. Lena Grundmann eine Idee des InnoWert-Projekts. Neben Nährstoffen gelangen auch von den Pflanzen ausgeschiedene Substanzen ins Erdreich, die das Wachstum von schädlichen Pilzen und Fadenwürmern eindämmen können – ein Phänomen, das als Biofumigation bekannt ist. Neben natürlichen Pflanzenschutzmitteln enthält die Nachtkerze ungesättigte Omega-6-Fettsäuren, die in Kosmetika Anwendung finden. Noch kann man die Wildpflanzen nur ungleichmäßig zur Keimung bringen. Daher will Lena Grundmann die Anzuchtbedingungen erforschen und verbessern. Am Fraunhofer UMSICHT arbeitet man derweil daran, die wertvollen Inhaltsstoffe mit Sensoren berührungs- und zerstörungsfrei zu messen.

Noch genügsamer als heimische Wildpflanzen sind Meeresalgen wie Zucker-, Flügel- oder Blasenentang, die in speziellen Tanks oft zu meterlangen Zellfäden heranwachsen. Sie enthalten neben Ballast-, Nähr- und Mineralstoffen eine Reihe gesundheitsfördernder Substanzen – und

Was sichert die Ernährung der Zukunft? Eine Möglichkeit: Algen. Sie lassen sich ressourcenschonend anbauen und haben einen hohen Nährwert.



eignen sich daher als Rohstoffe für Nahrungsergänzungsmittel und Lebensmittel. Ihr Anbau ist ausgesprochen nachhaltig, erklärt Elke Böhme, die am Fraunhofer-Institut für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Lübeck das Projekt FunSea leitet: »Die Algen wachsen im Meer, brauchen also weder Frischwasser noch Land, noch Düngemittel. Vielmehr entziehen sie dem Meer sogar einen Teil der überschüssigen Nährstoffe, die aus der Landwirtschaft eingeschwemmt werden und marine Ökosysteme belasten.« Zusammen mit einem norwegischen Algenzuchtunternehmen, dem Berliner Start-up wunderfish und weiteren Partnern arbeitet das Fraunhofer IMTE daran, die ernährungsphysiologische Qualität, die Sicherheit und die funktionellen Eigenschaften von kultivierten Braun- und Grünalgen als Lebensmittelzutaten zu verbessern.

Welche Institutionen befassen sich ebenfalls mit der Nutzung von Meeres-

algen, von Ölsaaten, von biobasierten Polymeren? In welchen Bundes- oder Nachbarländern werden ähnliche Pilotanlagen zum Upscaling innovativer Verfahren betrieben? Gibt es dafür Fördergelder vom Bund oder von der EU? Solche übergeordneten Fragen werden im Projekt ShapingBio gestellt, erläutert Projektleiter Dr. Sven Wydra vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: »Wir wollen das Innovationspotenzial der Bioökonomie stärken, indem wir bestehende Mängel identifizieren, Lösungsvorschläge erarbeiten und daraus Empfehlungen für die Politik ableiten. Denn Bioökonomie wird sehr stark von den politischen Rahmenbedingungen beeinflusst, die teils auf europäischer, teils auf nationaler und regionaler Ebene greifen. Oft sind unterschiedliche Behörden wie Landwirtschafts-, Forschungs-, Wirtschafts- und Umweltministerium beteiligt. Also suchen wir nach Möglichkeiten, wie sich die Ko-

ordination zwischen und innerhalb der Ebenen verbessern lässt.«

Ebenso wichtig sei der Austausch zwischen den involvierten Akteuren, so der Wirtschaftswissenschaftler: »Wir haben zusammen mit unseren zehn europäischen Projektpartnern 48 Workshops organisiert, teils online, teils in Präsenz. Da bringen wir die unterschiedlichsten Player zusammen, zum Beispiel politische Entscheidungsträger aus verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten mit Forschenden, mit Industrievertretern, mit Investoren, aber auch mit NGOs.« Derzeit wird in Brüssel an der dritten EU-Bioökonomie-Strategie gearbeitet, mit dem Ziel, die Implementierung im Markt voranzutreiben. Auch dabei ist die Expertise des ShapingBio-Teams gefragt. Das Projekt wird von der EU mit vier Millionen Euro gefördert. Sven Wydra: »Das zeigt, wie groß das Interesse an unserer Arbeit ist.« ■



Alle Tumorzellen entfernt?
Dr. Karin Burger entwickelt am Fraunhofer IOF mit ihrem Team ein quantenbasiertes Verfahren, um Gewebeproben nach OPs schneller und effizienter zu prüfen.

Quantentechnologien

Kleine Quanten – große Wirkung

Die kleinsten Teile der Materie geben Aufschluss über große Zusammenhänge. Sonnenlicht, Magnetismus oder molekulare Wechselwirkungen ließen sich ohne sie nicht schlüssig erklären. Als Basis für moderne Technologien wird Quantenphysik in ganz unterschiedlichen Bereichen noch Großes bewirken. Wo stehen wir heute bei Quantencomputing, -kommunikation, -imaging und -sensorik?

Von Mandy Bartel; Fotograf: Sebastian Arlt

Eine Anekdote unter Quantenphysikern geht so: Heisenberg und Schrödinger werden mit dem Auto von der Polizei angehalten. Der Polizist fragt Heisenberg: »Ist Ihnen eigentlich klar, wie schnell Sie waren?« Dieser überlegt kurz und antwortet: »Nein, aber ich weiß genau, wo ich bin.« Misstrauisch geht der Beamte ums Auto herum, öffnet den Kofferraum und ruft: »Wissen Sie, dass eine tote Katze in Ihrem Kofferraum liegt?« Schrödinger seufzt empört: »Jetzt schon, Sie Idiot!«

Wer diesen Witz versteht, kennt zwei der wichtigsten Grundsätze der Quantenmechanik. Mit seiner Unschärferelation zeigte der junge Werner Heisenberg 1925, dass es in der Quantenwelt nicht möglich ist, sowohl den Impuls als auch die Position eines Teilchens gleichzeitig präzise zu messen. Mit seiner Formulierung der fundamentalen Gesetze der Quantenmechanik deutete Heisenberg vor hundert Jahren die bis dahin geltenden Prinzipien der Physik komplett um. Erwin Schrödinger hingegen zeigte, dass Teilchen nicht nur an einem bestimmten Ort lokalisiert sind, sondern in einem Zustand der Überlagerung sein können. Er beschrieb die Ausbreitung von Materiewellen als Wahrscheinlichkeitswellen. In seinem berühmten Gedankenexperiment befindet sich in einer Kiste – aufgrund eines komplexen radioaktiven Mechanismus – eine Katze in einem solchen überlagerten Schwebezustand zwischen lebendig und tot. Erst wenn man nachschaut, legt das den Zustand fest.

Diese Erkenntnisse veränderten zuerst grundlegend unser Verständnis von der Welt – und dann unsere Welt selbst. Ohne die Quantenmechanik gäbe es keine Computer, keine Laser, keine moderne Kommunikationstechnologie. Und das ist längst nicht alles: Heute ist es möglich, die kleinsten Bausteine der Materie einzeln zu kontrollieren und gezielt zu nutzen – für Computer, die bald komplexe Probleme lösen können, für eine hochsichere Kommunikation und für genaueste Messungen in Diagnostik oder Materialforschung. Zu gewinnen gibt es viel: Bis zu zwei Billionen US-Dollar Marktwert sagen Analysten Quantencomputing, Quantenkommunikation und Quantensensorik bis 2035 voraus. Die globalen staatlichen Investitionen belaufen sich auf über 40 Milliarden US-Dollar, errechnete jüngst eine Fraunhofer-Studie. Der Einfluss und die neuen Möglichkeiten inspirierten die

Vereinten Nationen, 2025 zum Internationalen Jahr der Quantenwissenschaft und -technologie auszurufen.

Quantencomputing: Am besten im Team

Auf Quantencomputern ruhen die größten Hoffnungen. Durch ihre fundamental andere Rechenweise könnten sie Probleme lösen, an denen klassische Computer scheitern. Um einen echten Mehrwert zu schaffen, sind heutige Rechner zwar noch zu begrenzt und fehlerbehaftet. Doch gab es in jüngster Zeit große Fortschritte. Die empfindlichen Qubits – seien es Supraleiter, Atome, Photonen oder Ionenfallen – unterliegen thermischen, elektromagnetischen oder sonstigen Einflüssen, die zu Berechnungsfehlern und Rauschen führen. Um diese Fehler zu korrigieren, sind weitere Qubits auf dem Chip nötig, die den dazu nötigen Code ausführen. Das Problem: Die heute verfügbare Anzahl an Qubits reicht dafür längst nicht aus. Zudem steigt mit jeder zusätzlichen fehleranfälligen Recheneinheit auch die Fehlerquote wieder an.

Einen echten Quantensprung in höhere Qubit-Sphären verspricht Microsoft mit seinem im Februar vorgestellten neuartigen Quantenchip »Majorana 1«, der auf sogenannten topologischen Qubits basiert. »Prinzipiell könnte es diese neue Technologie erlauben, Millionen Qubits auf einem Chip zu platzieren, die auch viel robuster sind als bisher«, ordnet Dr. Jeanette Lorenz, Quantenforscherin am Fraun-

hofer-Institut für Kognitive Systeme IKS, vorsichtig optimistisch ein. Bisher habe man aber noch keine Rechenoperationen oder -algorithmen auf den produzierten Chips gezeigt. Wenn das funktioniert, könnte sich die Entwicklung praktikabler Quantenrechner von Jahrzehnten auf wenige Jahre verkürzen. »Bis dahin ist Benchmarking eine wichtige Aufgabe – nicht nur für die Industrie, um das Potenzial wirklich einschätzen zu können, sondern auch für die Quantencommunity selbst, um zu wissen, in welche Richtung man etwa Software weiterentwickeln muss.« ▶

40 Milliarden
US-Dollar investieren
Staaten weltweit in
Quantentechnologien,
so eine neue
Fraunhofer-Studie.



Fraunhofer-Studie
»Quantentechnologien
und Quanten-Ökosysteme«



Wie lässt sich das Stromnetz stabil halten? Dr. Jeanette Lorenz forscht am Fraunhofer IKS an konkreten Anwendungsfällen für Quantencomputer.



**Sicherer Drohnen-
verkehr der Zukunft?**
Dr. Nico Piatkowski
vom Fraunhofer IAIS
hat dank Quantencom-
puting die optimalen
Drohnenpfade im Blick.

Fehlertolerante und anwendungsfreundliche Software

Quantensoftware ist das Forschungsgebiet von Jeanette Lorenz und ihrem Team. Bis die Qubits selbst weniger fehleranfällig sind, wollen sie die Algorithmen so anpassen, dass sie mit den Hardware-Fehlern zurechtkommen. Mit fünf Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft verfolgen sie im Projekt QUASt das Ziel, Unternehmen Quantencomputing unkompliziert zugänglich zu machen. Dabei fokussieren sich die Forschenden auf industrielle Optimierungsprobleme, für die es heute noch keine perfekte Lösung gibt.

»Um eine bestimmte Fragestellung lösen zu können, müssen wir zunächst verstehen, welcher Algorithmus zu welcher Hardware passt, also wie man ein konkretes, industrielles Optimierungsproblem überhaupt in einen Quantencomputer einlesen kann«, beschreibt Lorenz die Herausforderung. Entscheidend ist dabei der Software-Stack, also die geschichtete Struktur aller Komponenten, die für Entwicklung, Betrieb und Einsatz von Quantencomputern nötig sind. Auf der obersten Ebene des Stacks wird der jeweilige

Anwendungsfall abgebildet. Auf den unteren Ebenen erfolgt die Anbindung an die jeweilige Hardware. Bislang geht man davon aus, dass sich unterschiedliche Hardware mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen für unterschiedliche Anwendungsfälle eignen wird. Deshalb arbeiten die Forschenden auch mit verschiedenen Hardware-Anbietern zusammen. »Wir wissen, dass etwa Ionenfallen langsamer sind als supraleitende Qubits, deshalb passen sie tendenziell eher für solche Fragestellungen, wo wir es uns erlauben können, dass die Maschine langsamer, aber dafür genauer rechnet.« Als Beispiel nennt Lorenz die Simulation von Molekülen.

Eine Anwendung von vielen, die sich ihr Forschungsteam im Rahmen von QUASt angesehen hat, ist die Optimierung von Stromnetzen. Hier gilt es, verteilte, unterschiedliche und sehr volatile Energiequellen im Stromnetz auszutarieren. Die Frage, die klassische Computer mit zunehmender Komplexität weniger lösen können, lautet: Wann muss man Stromquellen dazuschalten oder auch abschalten, um das Netz stabil zu halten? Quantencomputer könnten bei solchen kombinatorischen Optimierungsproblemen perspektivisch unterstützen – aber

nicht allein: »Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass Quantenprozessoren vielmehr eine neue Processing Unit sein werden, statt ein eigenes unabhängiges System«, so Lorenz. »Künftig wird man sie vermutlich im Orchester mit einem klassischen High-Performance-System betreiben. Deshalb ist die Anbindung so wichtig, um je nach Fragestellung zwischen beiden wechseln zu können.«

Ein Ergebnis aus QUASt ist ein ganz konkreter Entscheidungsbaum mit Lösungspfaden für solche Optimierungsprobleme. Der erlaubt es Unternehmen, sich selbst

eine quantengestützte Lösung aus unterschiedlichen Komponenten zusammenzubauen, die ihr Anwendungsproblem automatisiert löst. »Sie brauchen keine eigenen Quantenexperten, sondern werden durch den ganzen Prozess geleitet und wissen so, welcher Algorithmus zu welcher Fragestellung passt«, erklärt Jeanette Lorenz. Interessiert daran sind sowohl Unternehmen, die damit ihre eigenen Prozesse optimieren möchten, etwa in der Automobilindustrie, als auch Software-Anbieter, die die Erkenntnisse in ihre Software-Tools einbauen wollen.

»Um eine bestimmte Fragestellung lösen zu können, müssen wir zunächst verstehen, welcher Algorithmus zu welcher Hardware passt.«

Dr. Jeanette Lorenz, Fraunhofer IKS

Team-up mit Thales: Optimale Drohnenpfade durch die Raumzeit finden

Wie Quantencomputer ihre neuen Geschäftsmodelle zum Fliegen bringen können, wollte auch die Thales Group wissen. Ihre Air-Traffic-Management-Systeme sorgen für eine sichere und effiziente Bewegung von Flugzeugen während aller Phasen des Betriebes. Doch neben Flugzeugen werden künftig auch immer mehr Drohnen den Himmel erobern. Von Flugtaxi über Monitoring- bis Lieferdrohnen, die eilige Medikamente liefern, ist das Potenzial riesig. Um auch die neuen Flugobjekte im Blick zu behalten, will Thales sein Geschäftsmodell ausweiten. Aber den neuen Herausforderungen sind die bisher erprobten Systeme nicht gewachsen: Neben den optimalen Flugrouten müssen Flugverbotszonen und -zeiten mitberechnet sowie Kollisionen vermieden werden – und das für eine Vielzahl von Drohnen. Neue Methoden sind also gefragt. Daher wendete sich Thales an das Team von Dr. Nico Piatkowski am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin bei Bonn. ►

»Das Bestimmen der kürzesten Wege ist heute Grundlage jedes Navigationssystems. Doch sobald mehrere davon gefunden werden sollen, die auch noch miteinander interagieren, kommen klassische Computer schnell an ihre Grenzen. In unserem Szenario ist die Anzahl möglicher Interaktionen hoch, da die Drohnen nicht miteinander oder mit Gebäuden kollidieren dürfen. Mit Quantencomputern können wir solche Interaktionen direkt in die Qubits einkodieren«, erklärt der Informatiker. Für Thales formalisierte er mit seinem Team zunächst die Fragestellung mitsamt allen relevanten Faktoren mathematisch. Aus einer Geodatenbank mit Höheninformationen extrahierten sie ein 3D-Modell von Bonn, ergänzt um die vierte Dimension der Zeit. In diesem Graphen modellierten sie die verschiedenen möglichen Wege mehrerer Drohnen als schlauchartige Räume, um gleiche Wege zu vermeiden. Das Problem: Allein über der Innenstadt von Bonn gäbe es mehr als 1,2 Millionen Knoten, also Orte, an denen sich eine Drohne theoretisch aufhalten könnte. Für derzeitige Quantencomputer ist das viel zu groß.

Daher entlasten die Forschenden den Quantenrechner um Aufgaben, die klassische Rechner ohnehin sehr gut können: »Wir setzen die Start- und Zielpunkte fest und lassen einen klassischen Computer die kürzesten Routen berechnen. Aus diesen vorausgewählten Wegen muss dann der Quantencomputer nur noch die Routen ohne Kollisionen herausfinden. Er zieht also nicht mehr 1,2 Millionen Punkte in Betracht, sondern muss nur noch ein paar hundert Wege berücksichtigen.« Das Quantenergebnis wird dann wieder von einem klassischen Algorithmus geprüft und wenn es trotzdem noch Kollisionen gibt, kann die Menge an Pfadmöglichkeiten erweitert werden. »Ein entscheidender Punkt ist also herauszufinden, welcher Teil des Problems sich für einen Quantencomputer eignet und welcher nicht«, betont Dr. Nico Piatkowski.

Für ihre Berechnungen verglichen die Forschenden einen Simulated-Annealing-Software-Algorithmus, einen D-Wave-Quantencomputer, und die an ihrem Institut patentierte Hardware »IAIS Evo Annealer«, die die Funktionsweise eines Quantencomputers nachbildet. Damit lässt sich deutlich effizienter als bisher möglich prüfen, inwiefern sich spezifische mathematische Probleme künftig mit Quantencomputing lösen lassen. »Wir erzielen für

ein Beispiel mit zwanzig Drohnen in einem eingeschränkten Gebiet bereits profitable Ergebnisse auf beiden Systemen, mit null Kollisionen und der bestmöglichen Weglänge«, freut sich Piatkowski. Damit konnten die Forschenden zeigen, dass sich das Drone-Path-Finding-Problem mithilfe von Qubits lösen lässt. Im nächsten Schritt soll der entworfene Quantenalgorithmus auf weiteren Quantencomputern getestet werden.

Quantenkommunikation: Lichtteilchen sichern Netzwerke

Für ein ganz anderes Quantenexperiment stieg im März ein Flugzeug in die Luft. Es geht um das dritte einer Reihe von Schlüsselexperimenten der Initiative QuNET. Deren Ziel ist der sichere Informationsaustausch zwischen Behörden. An neuen Möglichkeiten dafür forscht ein Team aus den Fraunhofer-Instituten für angewandte Optik und Feinmechanik IOF und für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI sowie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, dem Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts MPL und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. In einer angespannten geopolitischen Lage und mit aufkommenden Technologien wie Quantencomputern, die bisherige Verfahren der Verschlüsselung knacken können, ist dies wichtiger denn je für die nationale Sicherheit. Neben Behörden könnten aber auch Banken oder große Datacenter von den neuen Möglichkeiten der Quantenkommunikation profitieren und sensible Daten zusätzlich darüber verschlüsseln.

Um bestehende Kommunikationsnetzwerke durch Quantenschlüsselverteilung (QKD) zu sichern, nutzen die Forschenden Quantenzustände, die nicht unbemerkt ausgelesen oder kopiert werden können. Von einer Quantenquelle erzeugte Lichtpulse lassen sich als Schlüssel, die nur dem Sender und Empfänger bekannt sind, zwischen zwei Orten austauschen. Dabei würde eine Manipulation oder ein Abhören der Lichtpulse sofort erkannt werden. Man kann die Photonen entweder durch sogenannte dunkle Glasfasernetze leiten oder, um größere Distanzen ab 200 Kilometern zu überwinden, via Freistrahl zum Beispiel von Satelliten zur Erde schicken. Oder beides kombiniert.

»Ein entscheidender Punkt ist also, herauszufinden, welcher Teil des Problems sich für einen Quantencomputer eignet und welcher nicht.«

Dr. Nico Piatkowski, Fraunhofer IAIS

»In verschiedenen Schlüsselexperimenten mit aufeinander aufbauender, steigender Komplexität demonstrieren wir die bisherigen Technologieentwicklungen«, erklärt Dr. Thorsten Goebel, der als Gruppenleiter die QUNET-Aktivitäten am Fraunhofer IOF zusammenführt.

Vor vier Jahren begann das Forscherteam mit einer einfachen Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen zwei Gebäuden in Bonn. Im vergangenen Jahr demonstrierte ein zukunftsweisendes Experiment in der Region Berlin, dass es möglich ist, die Behördenkommunikation in einem komplexen, städtischen Netzwerk mit mehreren Nutzenden quantengesichert zu verschlüsseln. Dafür wurden sechs Netzwerkknoten an Standorten des Fraunhofer HHI, der Deutschen Telekom sowie der Bundesdruckerei mit 125 Kilometern

Glasfaserstrecke und zusätzlichen Freistrahilverbindungen verknüpft. Als praxisnaher Anwendungsfall diente die Übertragung beispielhafter Ausweisdaten zwischen verschiedenen Behörden und Bürgern. »Wir konnten zeigen, wie unsere Systeme in heterogenen Netzstrukturen stabil zusammenarbeiten und kritische Schnittstellen funktionieren, um den Austausch von Personendaten mit Lichtquanten zu verschlüsseln«, freut sich Thorsten Goebel. Schnittstellen sind dabei die größte Herausforderung, sowohl zwischen Freistrahlfaser und Glasfaser als auch zwischen Systemen. »Es ist ganz essenziell, dass wir uns auch weiterhin über Standardisierung von Schnittstellen im europäischen Kontext unterhalten.«

Im nächsten Schlüsselexperiment soll nun demonstriert werden, wie sich eine quantengesicherte Kommunikationsverbindung zwischen einem fliegenden Flugzeug und einer mobilen Bodenstation aufbauen und schließlich an ein Glasfasernetz anbinden lässt. Die fliegenden Lichtteilchen sollen zusätzlich am Ende auch an eine Ionenfalle übertragen werden, die als stationärer Quantenspeicher dient. Die Forschenden wollen damit die Reichweite fasergebundener Quantenkommunikation in Zukunft erhöhen, ohne dass Daten in sicherheitskritischen Zwischenstationen ausgelesen werden müssten. Mit dem mobilen Setup könnten zukünftig Glasfaserlücken überbrückt und zum Beispiel sicherheitsrelevante Veranstaltungen wie ein G7-Gipfel in den Alpen durch eine Adhoc-Freistrahlfaser-Verbindung abhörsicher gemacht werden. Die mobile Bodenstation in Größe eines kleinen

Seecontainers fängt mit einem Periskop die Signale von der Quantenquelle im Flugzeug ein. Ein Teleskop stabilisiert und bündelt sie, um sie weiterzuleiten.

Statt eines Flugzeuges kann perspektivisch auch ein Satellit noch längere Distanzen überbrücken. Für die zu-

künftige Forschung an Satellitenverbindungen für die Quantenkommunikation baut das Fraunhofer IOF in Jena auf seinem Neubau derzeit eine optische Bodenstation, die ein stationäres Empfängerteleskop beherbergen soll. Dieses soll eigene Teleskop-Entwicklungen ermöglichen und als Baustein für ein globales Quantennetzwerk fungieren. Doch nicht nur die Forschung muss hier investieren: »Um die Quantenkommunikation weiter voranzubringen, müssen wir schnell in die Anwendung kommen«, wünscht sich Goebel. »Hier könnten zum

Beispiel Bundesbehörden nicht nur als Fördermittelgeber, sondern als Early Adopter vorangehen.« Die Zeit dafür drängt, denn das Bedrohungspotenzial durch Cyberangriffe und Abhöraktionen wächst mit den technischen Möglichkeiten, auch durch Quantencomputer. Und ähnlich wie diese wird auch die Quantenverschlüsselung künftig kaum allein zum Einsatz kommen: »Um maximale Sicherheit zu erzielen und Systeme resilienter zu machen, ist es sinnvoll, hybride Ansätze in der Datenverschlüsselung zu verfolgen und die Quantenschlüsselverteilung mit Post-Quantenkryptographie zu kombinieren.«

Quantenbildgebung: Tumorgewebe mit Quantentrick erkennen

Auch Goebels Kollegin am Fraunhofer IOF, Dr. Karin Burger, arbeitet mit ihrem Projektteam an verschränkten Lichtteilchen. Statt Abhörsicherheit nimmt sie jedoch medizinische Diagnostik in den Fokus. Während einer OP weiß der Chirurg oder die Chirurgin oft nicht, ob der gesamte Tumor tatsächlich entfernt werden konnte. Eine Probe des Randgewebes wird ins Labor geschickt, um mit langwierigen Kontrastverfahren in Kombination mit Lichtmikroskopie kranke und gesunde Zellen zu unterscheiden. Das kostet Zeit und kann Nachoperationen notwendig machen. »Zwar kommen neuere Digitalmikroskope mit Infrarotdetektoren ohne zusätzliche Fluoreszenzmarker aus, stoßen aber wegen ihres Signal-zu-Rausch- ▶

»Es ist ganz essenziell, dass wir uns auch weiterhin über Standardisierung von Schnittstellen im europäischen Kontext unterhalten.«

Dr. Thorsten Goebel, Fraunhofer IOF

Feind hört mit? Am Fraunhofer IOF forscht Dr. Thorsten Goebels Team an quantenbasierter Verschlüsselung für abhörsichere Kommunikationsnetze.





Verhältnisses schnell an ihre Grenzen. Und hochauflösendere Systeme sind im Aufbau sehr groß und bedürfen zusätzlicher Kühlung«, erklärt Karin Burger. Deshalb sind Krankenhäuser wie das Universitätsklinikum Jena auf der Suche nach schnelleren und effizienteren Verfahren.

Quantenoptik könnte eine Alternative bieten. Im BMBF-geförderten QUANCER-Projekt arbeiten neun Projektpartner aus Industrie und Wissenschaft gemeinsam mit dem Fraunhofer IOF an einem Rastermikroskop, das sogenanntes nicht-detektiertes Licht nutzt. In einer Pho-

»Unser Ziel ist ein kompakter Aufbau für die Quantenbildgebung in der Größe eines Schuhkartons, idealerweise kompatibel mit einem Standardmikroskop.«

Dr. Karin Burger, Fraunhofer IOF

tonenquelle werden zunächst Paare von korrelierten Lichtteilchen erzeugt, die sich wie Zwillinge in ihren quantenmechanischen Eigenschaften gleichen. Diese lassen die Forschenden zwei verschiedene Aufgaben verrichten: Während ein Lichtstrahl auf die Gewebeprobe gesendet wird, wird der andere mit einer Kamera eingefangen. Durch die Frequenzkorrelation der Teilchen werden die Informationen des Photons an der Probe auf das andere an der Kamera übertragen und dort sichtbar gemacht – ohne dass Letzteres überhaupt mit dem Gewebe in Berührung kommt. Das Besondere dabei: »Die Photonen der beiden Lichtstrahlen können auch ganz verschiedene Wellenlängen besitzen und so Einblicke in nur schwer zugängliche Wellenlängenbereiche geben«, erklärt die Wissenschaftlerin. »Zum Beispiel kann der eine Lichtstrahl im unsichtbaren Infrarotbereich ganz spezielle Informationen, etwa zur chemischen Zusammensetzung oder Veränderungen in der Gewebemorphologie, aus der Probe herauslesen, während der andere Lichtstrahl im sichtbaren Bereich von einem herkömmlichen, rauscharmen Detektor ausgelesen werden kann.« Mit diesem ►

Trick könnte die Quantenoptik die bisherigen Grenzen der aufwendigen Infrarot-Mikroskopie überwinden.

»Unser Ziel ist ein kompakter Aufbau für die Quantenbildgebung in der Größe eines Schuhkartons, idealerweise kompatibel mit einem Standardmikroskop«, sagt Burger. »Bereits im nächsten Jahr soll ein erstes Mikroskop zur Quantenbildgebung im mittleren Infrarotbereich aufgebaut sein, mit dem man die Proben im Rasterverfahren untersuchen kann.« Das Universitätsklinikum Jena will den Demonstrator dann an Tumorzellen testen.

Quantensensorik: Alles im Fluss

Schneller als alle anderen Quantentechnologien schafft die Quantensensorik bereits konkrete Mehrwerte in der industriellen Anwendung. Sie nutzt den Elektronenspin von Alkaliatomen, um kleinste Magnetfelder sichtbar zu machen. Mit quantenbasierter Technologie lassen sich beispielsweise Magnetfelder von Stoffen messen, die für herkömmliche Messtechnik unsichtbar sind. Ein konkretes Anwendungsszenario hat Leonhard Schmieder vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg für die Durchflussmessung in Rohren erfunden. Überall, wo in industriellen Prozessen Flüssigkeiten durch Leitungen fließen, muss für einen reibungslosen Ablauf ihr Durchfluss gemessen werden. Dafür gibt es zwar bereits erprobte Lösungen am Markt, die aber auch entscheidende Nachteile haben. Entweder funktionieren sie bei Luft- oder Gaseinschlüssen nicht zuverlässig, sind abhängig von der Leitfähigkeit des Mediums, müssen aufwendig in das Rohr integriert werden oder geraten in direkten Kontakt mit dem zu messenden Medium.

»Unser Verfahren bietet besonders großen Nutzen in Bereichen, in denen eine genaue, berührungsfreie beziehungsweise nicht-invasive Lösung wichtig ist«, erklärt Schmieder. »Das betrifft beispielsweise Treibstoffe, Seifenlaugen, Öle, Kühlflüssigkeiten oder auch Lebensmittel und flüssigen Wasserstoff.« Die einzige Voraussetzung: Das Medium muss gebundenen Wasserstoff enthalten, weil dessen Kernspins starke Signale für die Messung liefern. Zudem kommt er fast überall vor. Um diese auszulesen, nutzen Schmieder und sein Team sogenannte

optisch gepumpte Magnetometer, wie sie aufgrund ihrer konkurrenzlosen Sensitivität zum Beispiel in der Gehirnstromforschung (Magnetoenzephalographie) zur Anwendung kommen. Die Flüssigkeit wird zunächst magnetisiert und danach durch eine Störung des Magnetfelds markiert. Diese magnetischen Markierungen werden dann in einer Laufzeitmessung erfasst. Die magnetische Messtechnik dafür passt in einen Kasten, klein wie ein Zuckerwürfel, der außen am Rohr angebracht wird. Der Zuckerwürfel liest die winzigen magnetischen Änderungen selbst durch Stahl und Kunststoff hindurch aus.

Diese neue, patentierte Herangehensweise bietet auch weitere Möglichkeiten: »Mit unserer Methode können wir nicht allein die Fließgeschwindigkeit messen, sondern es lassen sich weitere wertvolle Informationen auslesen, die bisher nicht berührungslos erfasst werden konnten«,

so Schmieder. »Denkbar wäre etwa eine Flussprofildetektion oder eine mehrphasige Durchflussmessung, also wenn man beispielsweise Öl, Wasser und Gas gleichzeitig messen möchte.« Ein weiterer Vorteil: Das Messgerät soll nicht nur fest installiert werden können, sondern auch als mobiles Monitoring-Werkzeug dienen. Damit könnte man punktuell die Flussgüte prüfen und Ablagerungen im Rohr sichtbar machen. »Diese neuen Möglichkeiten könnten die Art und Weise, wie Flüssigkeiten in der Industrie überwacht werden, grundlegend verändern«, ist der Forscher überzeugt.

»Diese neuen Möglichkeiten könnten die Art und Weise, wie Flüssigkeiten in der Industrie überwacht werden, grundlegend verändern.«

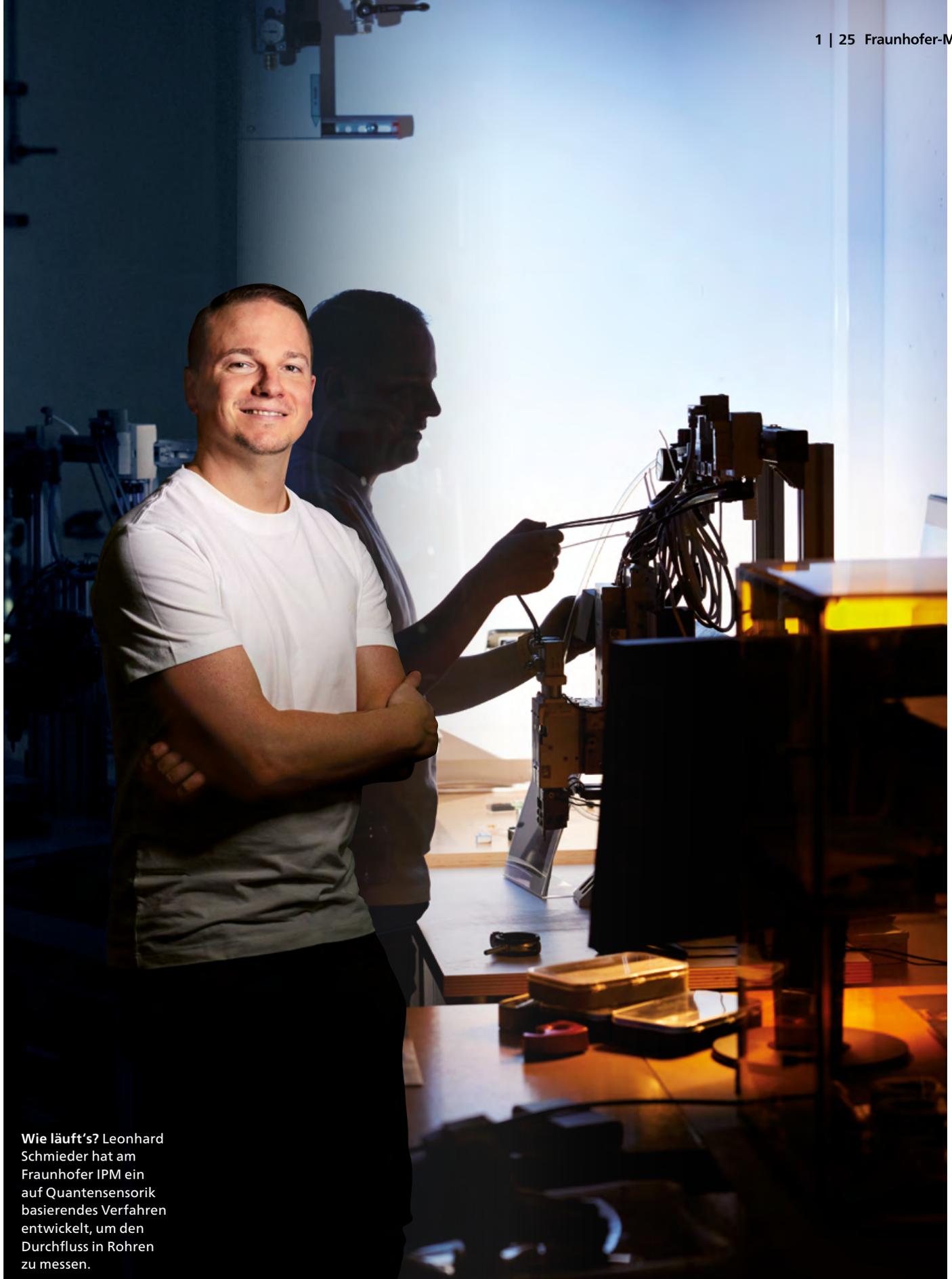
Leonhard Schmieder, Fraunhofer IPM

Alles ist möglich

Die Beispiele zeigen: Quantentechnologien befinden sich noch in einer Art Schwebezustand zwischen Grundlagenforschung und Anwendung. Wir wissen, an welchem Punkt sich die Entwicklung befindet, nur wie schnell sie voranschreiten wird, kann keiner sagen. Der nächste Durchbruch könnte jederzeit kommen. Fest steht – im Gegensatz zum Zustand von Schrödingers Katze – nur eines: Die Quantenforschung ist äußerst lebendig. ■



Webspecial
Quantentechnologien



Wie läuft's? Leonhard Schmieder hat am Fraunhofer IPM ein auf Quantensensorik basierendes Verfahren entwickelt, um den Durchfluss in Rohren zu messen.

Ein Quantencomputer für Deutschland

25 deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen arbeiten gemeinsam am ersten deutschen Quantencomputer. Die Ziele: Technologiesouveränität in einem umkämpften Zukunftsmarkt und neue Anwendungen für Wirtschaft und Wissenschaft.

Von Mandy Bartel

Marcus Wislicenus arbeitet an einer großen Sache mit: In zwei Jahren soll ein hochleistungsfähiger, in Deutschland gebauter Quantencomputer fertig sein, eingebettet in die Supercomputing-Infrastruktur des Forschungszentrums Jülich und zugänglich für externe Nutzer. Das Dresdener Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, an dem Wislicenus die Gruppe Quantum Technologies leitet, ist einer von 25 Partnern des Mammut-Projekts QSolid. Unter Leitung des Forschungszentrums Jülich befasst sich das hierzulande größte Konsortium dieser Art mit verschiedenen Fragestellungen rund um den Quantencomputer. Die größten Hürden, die es bis zu einem praktischen Einsatz der Superrechner noch zu nehmen gilt, liegen vor allem in der Verbesserung der Qubit-Qualität und damit der Fehleranfälligkeit auch bei höher skalierten Systemen mit 1000 und mehr Qubits sowie an der Anbindung der Industrie.

Erster Meilenstein

Zur Halbzeit des Projekts ging nun ein erster Prototyp des Quantenprozessors mit zehn supraleitenden Qubits und Cloud-Anwenderzugriff in Betrieb. Der Demonstrator zeigt Schlüsseltechnologien, die für den späteren Aufbau des Quantencomputers relevant sind. Und er soll es ermöglichen, Anwendungen und Benchmarks für Industriestandards zu testen. Deshalb wurde bewusst auf eine perspektivische Skalierbarkeit und die Anbindung an Fabrikationslinien von Industriepartnern geachtet.

»Natürlich ist grundlegende Forschung wichtig, doch am Ende muss alles hergestellt und an Unternehmen mit ihren spezifischen Prozessen und Infrastrukturen angepasst werden – da kommen wir ins Spiel«, sagt Marcus Wislicenus. Er ist mit seinem Team für die Hardware-Integration verantwortlich. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, All Silicon System Integration Dresden IZM-ASSID und Wirtschaftspartnern wie dem Halbleiterhersteller GlobalFoundries arbeiten die Dresdener an skalierbaren Lösungen. Dafür bringen die Forschenden des Fraunhofer IPMS ihre Erfahrung aus der Halbleiterindustrie ein und wollen die Infrastrukturen und Kompetenzen aus der Mikroelektronikbranche für Quantentechnologie nutzen.

Cleveres Packaging statt Kabelsalat

Eine Herausforderung sind zum Beispiel die zahlreichen zur Ansteuerung der Qubits nötigen Kabel und Leitungen, die ein Quantencomputer beherbergt: Je mehr Qubits ein System hat, desto mehr verringern diese Verkabelungen die Leistung des Prozessors und erschweren es, die Temperaturen niedrig zu halten. Deshalb ist hier eine integrierte Lösung gefragt. Die entwickelt das Fraunhofer-Team mit seinen Partnern, indem sie eine CMOS-Steuerlogik und einen Quantenprozessor gemeinsam in dem System integrieren. CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) ist eine Technologie zum Aufbau elektronischer Schaltungen in integrierten Schaltkreisen, wie sie in herkömmlichen Computern



Foto: Fraunhofer IPMS



All in one: Die Integration von Bauteilen mit unterschiedlichen Betriebstemperaturen verringert die Fehleranfälligkeit von Quantencomputern.

standardmäßig eingesetzt wird. Dieser neue Ansatz würde komplexe Verkabelungen in zukünftigen Quantenrechnern mit höheren Qubit-Zahlen überflüssig machen.

»Im Prinzip geht es darum, die CMOS-Chips, die eine wärmere Betriebstemperatur haben, und die Quantenprozessoren, die kryogene Bedingungen von -273,15 Grad Celsius brauchen, in einem System zusammenzubringen«, erklärt Marcus Wislicenus. »Durch ein Flexmodul, das auf der sogenannten Interposer-Technologie beruht, und ein fortschrittliches Packaging können wir diese Komponenten so entkoppeln, dass zwar die notwendigen elektrischen Impulse übertragen werden, nicht jedoch die thermischen Schwingungen.« Diese interdisziplinäre Herangehensweise erfordert nicht nur eine enge Zusammenarbeit von Physik und Ingenieurwesen. Eine Herausforderung ist es auch, die Schnittstellen mit mehreren Partnern und Systemen bei unterschiedlichen Standards kompatibel zu gestalten. »Gemeinsam mit unseren Partnern in Dresden konnten wir das Design für die Co-Integration von CMOS- und Quantenchips sowie geeignete Materialien für das Temperaturmanagement festlegen«, verdeutlicht der Forscher die bisherigen Fortschritte des Teilprojekts. »Eine darauf basierende erste Generation Interposer ist bereits hergestellt und bei kryogenen Bedingungen erfolgreich getestet. Das umfasst auch den Nachweis der supraleitenden Eigenschaften der verwendeten Materialien. Außerdem waren die Tests für die kryogene Charakterisierung der CMOS-Chips von GlobalFoundries erfolgreich.«

Der 10-Qubit-Prototyp ist nur ein Zwischenschritt auf dem Weg zu einer höheren Skalierung. Zum Projektende im Dezember 2026 soll das System so weiterentwickelt werden, dass es 30 Qubits bei größtmöglicher Fehlerkorrektur kontrollieren kann. Auch wenn nach einem regelrechten Quantencomputing-Hype in den letzten Jahren viele wegen langsamerer Fortschritte in der Technologieentwicklung vom einsetzenden Quantenwinter sprechen, zeigt sich Forscher Wislicenus optimistisch: »Vor allem durch den European Chips Act kommen wir nun zunehmend von der Forschung in die Praxis. In diesem Rahmen werden derzeit verteilte europäische Pilotlinien aufgebaut, um Quantenchips im Produktionsmaßstab herzustellen. Damit wird nicht nur der Reifegrad der Technologie weiter gehoben, sondern es haben auch viel mehr Unternehmen und Start-ups Zugang dazu.« ■

Ein Zwilling für jeden

Ein digitaler Doppelgänger aus Gesundheitsdaten soll mithilfe von KI die Medizin revolutionieren – und es eines Tages ermöglichen, Krankheiten zu erkennen, bevor sie entstanden sind.

Von Beate Strobel

Bereits im Jahr 2033 soll das Smartphone unseren wichtigsten Gesundheitswächter beherbergen: unser virtuelles Spiegelbild aus Bits und Bytes, in dem all jene medizinisch relevanten Informationen zusammenkommen, die je über und durch uns erhoben wurden. Auf Basis dieser ganz individuellen Daten und Fakten wird uns eine KI nicht nur an die Krebsvorsorge erinnern oder die Frühjahrsdiät anmahnen, sondern auch rechtzeitig Alarm schlagen, wenn etwa eine Herzerkrankung oder Diabetes Typ 2 drohen. Die Zukunftstechnologie »Digitaler Patienten-Zwilling« besitzt damit das Potenzial für einen Paradigmenwechsel in der Gesundheitsversorgung: Erkrankungen präventiv zu verhindern, anstatt lange nichts zu machen und dann zu therapieren, wenn die Krankheit ausgebrochen ist.

Dass sich die Digitalen Patienten-Zwillinge schon 2033 flächendeckend durchgesetzt haben werden, erscheint zunächst fraglich angesichts der vielen Jahre, die bis zur Einführung digitaler Lösungen wie dem eRezept oder der elektronischen Patientenakte verstrichen sind. Dennoch halten es die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE für durchaus möglich, wie sie im Whitepaper »Digitale Gesundheitsversorgung 2033. Trends, Szenarien und Thesen« betonen. Auch wenn Deutschland bislang im europäischen Vergleich bei der Digitalisierung des Gesundheitswesens eher schlecht abschneidet, habe man sich zumindest im Themenfeld der digitalen Gesundheitsanwendungen eine Vorreiterrolle erarbeitet, betont Dr. Theresa Ahrens. »Bei der Implementierung Digitaler Gesundheitsanwendungen – den sogenannten DiGa – wollen viele andere

EU-Länder inzwischen unser Konzept übernehmen«, erklärt die Leiterin der Abteilung »Digital Health Engineering« am Fraunhofer IESE in Kaiserslautern. Die zügige Entwicklung innovativer Technologien wie Digitalen Patienten-Zwillingen ist inzwischen auch Teil der deutschen Digitalisierungsstrategie für das Gesundheitswesen und die Pflege.

Die Zukunftstechnologie »Digitaler Patienten-Zwilling« besitzt das Potenzial für einen Paradigmenwechsel in der Gesundheitsversorgung.

Täglich werden gigantische Mengen an individuellen Gesundheitsdaten erhoben – in Krankenhäusern und Arztpraxen, aber auch über Apps und sogenannte Wearables, also digitale Tracker, die im Smartphone, in der Uhr, in Armbändern oder auch in der Kleidung integriert sind. Diese Datenflut wird bislang nur tröpfchenweise genutzt: etwa, um mittels Röntgenbild einen Knochenbruch zu diagnostizieren oder um die Zunahme der persönlichen Fitness zu beobachten. Schade darum, findet Data Scientist Jean Stadlbauer vom Fraunhofer IESE, denn: Würde man eine KI mit allen verfügbaren individuellen Gesundheitsinformationen füttern, könnte sie aussagekräftige Muster in dem scheinbaren Datenchaos erkennen und über Algorithmen valide Aussagen zu Prävention, Diagnose und Therapieerfolg machen. Stadlbauer: »Das wäre ein Riesenschritt hin zur personenzentrierten Medizin.«

Doch während sich der digitale Doppelgänger von Maschinen in der Industrie längst durchgesetzt hat, steckt dieser Ansatz in der Medizin noch in den Anfängen. Und das aus gutem Grund: »Der Mensch ist nun einmal keine Maschine. Auch wenn man schon viel weiß über die molekularen Mechanismen im Körper, können wir die Komplexität auf Zellebene noch nicht in Gänze digital abbilden«, ►



Foto: Rytis Bernotas/istockphoto

Smarter Ansatz: Ein virtuelles Abbild aus Gesundheitsdaten könnte den Wechsel Richtung Präventivmedizin beschleunigen.

erklärt Molekularmedizinerin Theresa Ahrens. Die Forschung fokussiert sich deshalb momentan darauf, digitale Zwillingsmodelle für spezielle Krankheitsverläufe wie Diabetes oder Multiple Sklerose zu erstellen sowie für einzelne Organe. »Für das Herz oder die Lunge funktioniert das beispielsweise bereits sehr gut«, berichtet Ahrens. Mithilfe von KI werden dafür kardiovaskuläre oder pulmonale Daten mit anderen Informationen wie Laborwerten oder den Ergebnissen unterschiedlicher medizinischer Bildgebungsverfahren kombiniert und ausgewertet – mit dem Ziel, dass Ärztinnen und Ärzte künftig Therapieoptionen virtuell testen und die beste Behandlung für eine bestimmte Person identifizieren können.

Mit nur wenigen Klicks zu Diagnose, Therapie oder Präventionsmaßnahmen: Gleich mehrere Fraunhofer-Institute arbeiten daran, diese Idee voranzutreiben. Im Leitprojekt MED2ICIN haben sich unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD sieben Fraunhofer-Institute zu einem Forschungsverbund zusammengesetzt und innerhalb von vier Jahren eine Art Dashboard für die Datenintegration und Behandlung von Patientinnen und Patienten mit chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen entwickelt. In dem EU-Projekt CERTAINTY arbeiten Forschende der Fraunhofer-Institute für Zelltherapie und Immunologie IZI sowie für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI gemeinsam mit Partnern an der Entwicklung eines virtuellen Zwillings, der die maßgeschneiderte Behandlung von Krebspatienten mittels zellulärer Immuntherapie – ein hoch individuelles und damit auch extrem kostenintensives Verfahren – verbessern soll. Beispielhaft wird derzeit ein Doppelgänger-Modell kreiert für eine bösartige Knochenmarkserkrankung namens Multiples Myom. Das Referenzmodell soll aber im Anschluss übertragbar sein auf andere Diagnosen, die mit zellulären Immuntherapien behandelt werden können.

Einen großen Schub könnte das neue Gesundheitsdatennutzungsgesetz (GDNG) den Digitalen Patienten-Zwillingen verleihen. Für Forscherinnen und Forscher wird es künftig sehr viel leichter sein, für wissenschaftliche Projekte auf anonymisierte Patientendaten zuzugreifen. Auch die Daten aus der elektro-

»Der aktuelle
**Gender
Data Gap**
kann nur
überwunden
werden durch
die Einbeziehung der
gesundheitlichen Daten
nicht nur in
bestmöglicher
Qualität,
sondern auch
von möglichst
vielen
Menschen.«

Dr. Theresa Ahrens,
Fraunhofer IESE

nischen Patientenakte (ePA), die noch in diesem Jahr allen gesetzlich Versicherten von ihrer Krankenkasse zur Verfügung gestellt werden, sollen dann für Studien automatisch verfügbar sein; Patientinnen und Patienten, die dies nicht wollen, müssen dem aktiv widersprechen (Opt-Out-Verfahren).

Die Arzneimittelforschung könnte ebenfalls profitieren, erklärt Jean Stadlbauer: »Die erwartete Wirkung inklusive potenzieller Nebenwirkungen sowie unterschiedliche Dosierungsszenarien lassen sich so über digitale Patientenmodelle simulieren, ohne dass dafür reale Versuchspersonen nötig sind.« Simulationen für besonders schützenswerte Bevölkerungsgruppen – Kinder etwa oder Schwangere – wären möglich, ohne reale Versuchspersonen einem Risiko auszusetzen. Die neuen Zugriffsmöglichkeiten auf große Datensätze könnten auch ein anderes Problem beseitigen. »Testet man KI-Systeme auf Subgruppen-Performance, stellt sich immer wieder heraus, dass deren Analysen, Empfehlungen und Prognosen vor allem zutreffen für weiße, heteronormative Männer. Sobald die Zielperson weiblich ist oder aus anderen Gründen aus dieser Kategorie fällt, verschlechtert sich die KI-Performance häufig«, betont Ahrens. »Der aktuelle Gender Data Gap kann nur überwunden werden durch die Einbeziehung der gesundheitlichen Daten nicht nur in bestmöglicher Qualität, sondern auch von möglichst vielen Menschen.«

Eines Tages, so die Vision der Fraunhofer-Forschenden Ahrens und Stadlbauer, enthalten Digitale Patienten-Zwillinge alle Daten eines Menschen ab seiner Geburt und können das Geschehen in seinem Körper nicht nur abbilden, sondern auch prognostizieren. 2033 wird es vermutlich noch nicht so weit sein. »Aber«, so Theresa Ahrens, »wir arbeiten daran.« ■



Kann Europa KI?

Video-Interview (YouTube) mit Prof. Axel Müller-Groeling, Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft für Forschungsinfrastruktur und Industrialisierung, über Roadmaps, Moonshots und eifersüchtig bewachte Daten für InnoVisions, das Zukunftsmagazin des Fraunhofer-Verbands IUK-Technologies.



Verstärkung fürs Knie – aus dem 3D-Drucker

Sport und Bewegung fördern unsere Gesundheit. Doch falsche Belastung kann Knorpeldefekte in den Gelenken zur Folge haben. Unbehandelt können diese zu Arthrose führen – eine Erkrankung, für die es aktuell keine effektive Lösung gibt. Noch nicht.

Von Manuel Montefalcone

Fünf Millionen Frauen und Männer in Deutschland leiden schätzungsweise an Arthrose, also an einem schmerzhaften Knorpelverschleiß in den Gelenken, der bislang als unheilbar gilt. Denn ein einmal zerstörter Knorpel wächst nicht mehr in der ursprünglichen Form nach. An einem Lösungsansatz arbeiten nun Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam und der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) in dem Projekt BioPol-3D. Ziel ist die Entwicklung individualisierter Knorpelzellimplantate aus dem 3D-Drucker. Seit Januar 2024 wird das vierjährige Vorhaben mit zwei Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Knorpelzellen aus dem 3D-Drucker

»Wir forschen seit Langem an Polymeren, die biofunktional sind, also mit Zellen und Geweben interagieren«, erklärt Projektleiter Prof. Ruben R. Rosencrantz, der auch den Bereich Life Science und Bioprozesse am Fraunhofer IAP koordiniert. »Für BioPol-3D entwickeln und optimieren wir spezielle Polymere, die mit den Knorpelzellen komplementär sind und diese stabilisieren«, erläutert Rosencrantz. Diese innovativen Biopolymere bilden die Ausgangsbasis für Knorpelzellimplantate aus dem 3D-Drucker.

Der normale Bürodruker benötigt Tinte. Doch wie ist das, wenn Knorpelzellimplantate gedruckt werden sollen? In diesem Fall kommt eine spezielle Biotinte zum Einsatz. Sie besteht aus den am Fraunhofer IAP entwickelten biofunktionalen Polymeren als Hydrogele sowie weiteren Bestandteilen, die die natürliche Zellumgebung im Körper nachahmen. Zudem enthält die »Tinte« lebende Knorpelzellen der jeweiligen Patienten. Hydro-

Unser Skelett besitzt gut 360 Gelenke. Knorpel ermöglichen ihnen eine reibungs-freie Funktion.



gele, Polymere und die körpereigenen Zellen bilden eine honigartige, viskose Masse, die genau auf die Bedürfnisse der Knorpelzellen abgestimmt ist.

Biotinte mit revolutionärem Potenzial

Die Forschenden am Fraunhofer IAP stehen inzwischen kurz vor dem erfolgreichen 3D-Druck von Knorpelzellimplantaten: »Wir testen die Biotinte zunächst in vitro mit menschlichen Zellkulturen, um die Biokompatibilität und Funktionsfähigkeit zu bestätigen«, so Rosencrantz. »Dabei muss die Tinte robust genug sein, um im Druckprozess die gewünschte Form zu erzeugen und gleichzeitig eine Umgebung zu schaffen, die für Knorpelzellen geeignet ist.«

Die gedruckten Knorpelzellimplantate bergen revolutionäres Potenzial sowohl in der gesundheitlichen Versorgung als auch in der additiven Fertigung ähnlicher Formkörper. Wenn sich diese 3D-Biodruck-Materialien und -Verfahren bewähren, könnten sie auch in Bereichen wie Sensorik und Kosmetik eingesetzt werden. »Indem wir maßgeschneiderte Implantate drucken, können Knorpeldefekte besser therapiert werden. Damit sinkt die Wahrscheinlichkeit für Arthrose als Folgeerkrankung deutlich«, resümiert Rosencrantz. »Auch in meiner Familie gibt es von Arthrose betroffene Menschen. Umso mehr treibt es mich an, etwas zu entwickeln, das hier wirklich hilft.« ■

»Wir forschen seit Langem an Polymeren, die biofunktional sind, also mit Zellen und Geweben interagieren.«

Prof. Ruben R. Rosencrantz,
Fraunhofer IAP



Schneller geheilt

Die Entwicklung neuer Medikamente wird immer teurer und dauert immer länger. Wie KI und Mini-Organen aus der Petrischale helfen, das zu ändern.

Von Dr. Sonja Endres



Früher wurde vor allem mit Pflanzen und Heilkräutern behandelt. Heute füllen Hightech-Arzneimittel die Regale der Apotheken.

Seit mehr als 25 Jahren ist Prof. Carsten Claussen auf der Suche. »Der eine Wirkstoff, der es in die Apotheke schafft, ist wie die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen«, erzählt der Leiter des Hamburger Standorts des Fraunhofer-Instituts für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP. Einmal, so verrät Claussen, hätte er es fast geschafft. Doch dann zeigte das vermeintliche Alzheimer-Mittel im Menschen keine Wirkung. »Meine Frau dachte schon, wir würden reich. Da musste ich sie leider enttäuschen«, erinnert er sich. »So bleibe ich Fraunhofer erhalten – und das mit Freude!«

Mit viel Ausdauer und Know-how durchkämmen Claussen und sein Team Substanz-Biblio-

theken, die oft hunderttausend oder mehr Moleküle umfassen, nach einem »Hit«. So bezeichnen Expertinnen und Experten einen vielversprechenden Treffer, der an einem zuvor identifizierten Wirkziel im Körper – dem Target – andocken und beispielsweise das Wachstum von Tumorzellen blockieren kann. Das Team führt sogenannte Hochdurchsatz-Screenings durch, bei denen die Moleküle automatisiert darauf getestet werden, ob und wie sie mit dem Target interagieren. Claussen: »Wir überprüfen natürlich nicht einfach irgendwelche Moleküle, sondern versuchen im Vorfeld, möglichst relevante auszuwählen.« Dafür nutzen die Forschenden bereits vorhandene Daten über chemische Strukturen und biologische Eigenschaften der Moleküle wie Verstoffwechslung oder ▶

»Bis man das Mittel ersten Probandinnen und Probanden verabreichen kann, vergehen etwa fünf bis sieben Jahre. Dabei sind die Ausfallraten wahnsinnig hoch.«

Prof. Carsten Claussen,
Fraunhofer ITMP

Proteininteraktion und trainieren KI-Modelle, die dabei helfen, ideale Wirkstoffstrukturen vorherzusagen: »So lässt sich die Gruppe der Substanzen, die infrage kommen, viel genauer eingrenzen. Unsere Suche wird schneller, konkreter, intelligenter. Die Chance auf einen Hit verdoppelt sich.«

Ihr jüngster Erfolg: Sie entdeckten eine Verbindung, die gegen Epilepsie bei Kindern wirksam ist. Fündig wurden sie in einer sogenannten Repurposing-Bibliothek – einer Sammlung von Substanzen, die bereits für eine bestimmte medizinische Indikation zugelassen sind. Claussen: »Der Gedanke ist ja naheliegend, dass ein Arzneimittel auch an anderen Stellen im Körper nützliche Effekte zeigen kann.« Der Vorteil: Entwicklungszeit und -kosten reduzieren sich, weil viele Tests nicht mehr notwendig sind und einige Entwicklungsphasen übersprungen werden können. Auch lassen sich Risiken ausschließen, die bis dahin unbekannt Verbindungen beinhalten.

Von 10 000 Substanzen schafft es nur eine

Denn nicht jeder Hit ist auch als Wirkstoff geeignet: Die Substanz könnte toxisch sein, im Blutserum schnell zerfallen oder gefährliche Nebenwirkungen hervorrufen. Ermittelt wird das durch umfangreiche Tests an Zellkulturen, im Tier und später, wenn alles glattläuft, auch im Menschen. Claussen: »Bis man das Mittel ersten Probandinnen und Probanden verabreichen kann, vergehen etwa fünf bis sieben Jahre. Dabei sind die Ausfallraten wahnsinnig hoch.«

Von 10 000 Substanzen mit Wirkpotenzial werden, so der Verband Forschender Arzneimittelhersteller vfa, rund neun im Menschen getestet, nur eine erreicht tatsächlich später den Markt. So ist es nicht erstaunlich, dass die Entwicklung eines neuen Medikaments teuer ist und lange dauert: Die Gesamtkosten liegen heute im Durchschnitt bei 2,8 Milliarden US-Dollar. Von der ersten Idee bis zur Zulassung vergehen zwölf Jahre – der vorläufige Höhepunkt eines Trends, der seit den 1950er-Jahren ungebrochen anhält.

Ein wichtiger Grund: Pharmaka werden immer komplexer. Standen anfangs Krankheiten mit einfachen Wirkmechanismen oder weit verbreitete Symptome wie Kopfschmerzen oder Sodbrennen als Entwicklungsziele im Vordergrund, sind es heute Krebs oder rheumatische Systemerkrankungen.

Diese betreffen zahlreiche biologische Prozesse im Körper und sind nur mit Kombinationstherapien mehrerer Wirkstoffe effektiv behandelbar. Die Krankheitsmechanismen sind vielschichtig und oft nicht vollständig verstanden, was die Ableitung von Targets erschwert. »Auch hier kann uns KI sehr helfen«, ist Claussen überzeugt. Denn sie macht es möglich, zahlreiche Parameter, die die Krankheit beeinflussen, zu berücksichtigen, miteinander zu kombinieren und so wesentliche Targets zu identifizieren.

Ist ein vielversprechender Wirkstoff-Kandidat gefunden, wird er auf Wirksamkeit und Sicherheit geprüft. Der Aufwand und die langen Genehmigungszeiten für Tierversuche lassen sich heute in vielen Fällen einsparen. Dr. Julia Neubauer, Geschäftsführerin am Fraunhofer-Projektzentrum für Stammzellprozesstechnik, und ihr Kollege Prof. Florian Groeber-Becker, Leiter des Fraunhofer-Translationszentrums für Regenerative Therapien, arbeiten gemeinsam in Würzburg an innovativen zellbasierten Gewebemodellen für die Wirkstoff-Testung. Dafür nutzen sie, neben primären Zellen aus verschiedenen Geweben wie der Haut oder dem Auge, induzierte pluripotente Stammzellen oder kurz iPS-Zellen – künstlich erzeugte Stammzellen, aus denen sich unterschiedliche Zelltypen züchten lassen. Diese haben unter anderem den Vorteil, dass sie einheitlich und reproduzierbar sind, während primäre Zellen variieren können. Außerdem sind einige primäre Zellen wie Herzmuskelzellen oder neuronale Zellen nur schwer zu isolieren und zu kultivieren.

Ein weiterer großer Pluspunkt dieser Gewebemodelle ist, dass sie spezifische Krankheitszustände oder -mechanismen nachbilden können. »Ein Versuchstier hat ja zunächst keine Krankheit, das heißt, Sie müssen die Pathologie erst mal induzieren, bevor Sie Tests durchführen können«, verdeutlicht Groeber-Becker. Demgegenüber sind Gewebemodelle nicht nur ethisch unproblematisch – sie liefern auch wesentlich bessere Ergebnisse. Neubauer: »Ich habe quasi den Menschen mit der Krankheit in die Petrischale gebracht.«

Modell-Herzen kontrahieren wie richtige

Drei bis sechs Wochen dauert es, bis die humanen Testmodelle einsatzfähig sind. »Bei den Kardiomyozyten, also den Herzmuskelzellen, haben wir bereits nach sieben Tagen schlagende kleine

Aggregate, die wie winzige Herzen kontrahieren«, freut sich Neubauer. Anschließend reifen sie und werden unter bestimmten Bedingungen so kultiviert, dass dreidimensionale Gewebe, sogenannte Organoide, entstehen. An diesen etwa stecknadelkopfgroßen Modell-Heerden kann beispielsweise getestet werden, wie sich innovative Herzmedikamente auf die Kontraktionskraft oder den Rhythmus auswirken. Problemlos können auch verschiedene Wirkstoffe hintereinander oder in Kombination am gleichen Modell überprüft werden. Groeber-Becker: »Bei unseren Hautmodellen, die etwa fingernagelgroß sind, kann man sogar eine Formulierung, also zum Beispiel eine Creme, mit einem Wattestäbchen einmassieren.«

Die Modelle lassen sich etwa ein bis zwei Wochen nutzen, danach sind die Zellen zu alt und verlieren schrittweise ihre Funktionalität. Noch könne man auf Tierversuche in der Medikamentenentwicklung nicht völlig verzichten, so Groeber-Becker. »Aber wir arbeiten daran, dass sie immer seltener notwendig sind.«

Das Interesse an den Gewebemodellen und den Organoiden sei hoch, berichtet Groeber-Becker weiter, denn sie haben zusätzlich einen entscheidenden Vorteil: »Es entsteht eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis, weil sich mithilfe unserer humanen Modelle die Prädiktionskraft erhöht. Das heißt, man kann sehr viel präziser vorhersagen, wie sich der Wirkstoff im Menschen verhält und ob sich klinische Studien lohnen.«

Doch selbst wenn die Prognose günstig ist: Nur ein Teil der aussichtsreichsten Wirkstoffkandidaten landet tatsächlich bei den Patientinnen und Patienten. Denn eine der größten Hürden in der Arzneimittelforschung steht noch bevor: die Rekrutierung von Teilnehmenden für klinische Studien.

Bisher werden Probandinnen und Probanden noch vorwiegend manuell gesucht. Mitarbeitende in Kliniken und Praxen überprüfen ihren Patientenstamm und gleichen ihn mit dem Anforderungskatalog der jeweiligen Studie ab – ein mühsames, zeitaufwendiges Verfahren, das häufig erfolglos bleibt: Mindestens 20 Prozent aller klinischen Studien scheitern, weil nicht ausreichend viele Kandidatinnen und Kandidaten gefunden werden können.

Eine neue KI-basierte Lösung, entwickelt am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und

Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin bei Bonn, schafft Abhilfe. Mit ihr ist es möglich, relevante Informationen einfach aus Fließtexten wie Anamnesen oder Arztbriefen zu ziehen und mit den Ein- und Ausschlusskriterien für klinische Studien zu vergleichen. In Sekundenschnelle kann so beispielsweise die Datenbank einer Klinik durchforstet werden. Dabei ist es egal, in welchem Dateiformat die Informationen gespeichert sind. »Aktuelle KI-Modelle können mit multimodalen Daten umgehen, also auch mit Bildern von Texten oder Tabellen. Wir arbeiten zurzeit an einer Integration solcher Modelle in unsere Lösungen«, erklärt Sina Mackay, Data Scientist am Fraunhofer IAIS. Der Abgleich mit den Anforderungskatalogen der aktuellen Studien, die auf zentralen Websites wie dem EU Clinical Trials Register veröffentlicht werden, könnte automatisch erfolgen.

Studienteilnehmende per App schneller finden

Doch nicht nur die Pharmaindustrie, auch viele Patientinnen und Patienten sind auf der Suche nach für sie passenden Studien – um beispielsweise Zugang zu innovativen Therapien zu erhalten oder die medizinische Forschung zu unterstützen und so anderen Menschen mit ähnlichen Erkrankungen zu helfen. Für sie hat das Fraunhofer IAIS-Team gemeinsam mit Partnern den Prototyp einer App erstellt, die die persönlichen Daten aus der elektronischen Patientenakte (ePA) mit den Anforderungsprofilen der auf den Websites veröffentlichten Studien abgleichen könnte. »Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers steigt, wenn beide beteiligte Parteien aktiv suchen – also sowohl Wirkstoffentwickler als auch Patientinnen und Patienten«, verdeutlicht Mackay. Die Rekrutierung von Studienteilnehmenden könnte dann sehr viel schneller, effizienter und erfolgreicher gelingen. Bevor die DATACARE-App aber auf die elektronische Patientenakte zugreifen darf, müssen unter anderem noch rechtliche Fragen geklärt und die Gewährleistung des Datenschutzes sichergestellt werden. Mackay: »Außerdem sollten selbstverständlich alle relevanten Dokumente in der elektronischen Patientenakte vorhanden sein, wovon wir im Moment noch nicht ausgehen können.« Sie bleibt jedoch zuversichtlich: »Ein Anfang ist gemacht.« ■

Mindestens

20%

aller klinischen Studien scheitern, weil nicht ausreichend viele Kandidatinnen und Kandidaten gefunden werden können.

Gründen mit Fraunhofer: Aus der Wissenschaft in die Wirtschaft

Hilfe für die Helfenden

Mit einer innovativen Software unterstützt die Fraunhofer-Ausgründung adiutaByte ambulante wie stationäre Pflegedienste bei der Dienst- und Tourenplanung – und treibt die Digitalisierung im Gesundheitsbereich mit voran.

Von Michael Krapp

Als einen »professionellen Nerd« bezeichnet sich der Mathematiker Dustin Feld gerne: Für ihn sehen die Leiterbahnen auf Computerchips, an denen er im Rahmen seiner Doktorarbeit am Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI in Sankt Augustin forscht, wie Straßen aus, die durch eine Stadt führen. Die Elektronen wiederum gleichen Fahrzeugen, die auf vorgegebenen Routen möglichst schnell ans Ziel kommen wollen. Feld überlegt: Wenn sich mithilfe kombinatorischer Optimierungsalgorithmen und Methoden der Künstlichen Intelligenz Verzögerungen auf den Wegen der Elektronen abschätzen lassen – könnte man auf diese Weise nicht auch die Tourenplanung etwa für Pflegedienste realistisch simulieren und optimieren?

Eine Idee, die den Fraunhofer-Forscher nicht mehr loslässt. Über einen Gründerwettbewerb lernt er Betriebswirt Philipp Rinner kennen. Gemeinsam entwickeln sie die Idee einer verbesserten Tourenpla-

nung für ambulante Pflegedienste weiter. Einfach ist die Sache nicht: Randbedingungen wie Qualifikationen von Pflegern, die Bedürfnisse der Patienten, gesetzliche Aspekte, Schichten und der Straßenverkehr in Echtzeit sind zu beachten. Gespräche mit Menschen aus der Pflegebranche bestätigen, dass es gerade aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren bislang keine zufriedenstellende Lösung für die Touren- und Einsatzplanung am Markt gibt. Und dass sich hier durch ein innovatives Optimierungsverfahren ein echter gesellschaftlicher Mehrwert schaffen ließe: Wenn Pflegedienste weniger Zeit investieren müssen in die Wegeplanung, bleibt ihnen mehr Zeit für das, worauf es ankommt – bestmögliche Pflege.

Etwa eineinhalb Jahre lang verfolgt Feld mit den Master-Studierenden Vanessa Wolff und Eric Schricker das Projekt am Fraunhofer SCAI weiter, finanziell unterstützt durch die Fraunhofer-Programme FDays und INNOVATOR. In Schulungen können sie sich mit anderen Fraunhofer-

Gründerteams austauschen und lernen, wie man den Markt analysiert, Finanzpläne erstellt und was man bei Arbeitsverträgen für Mitarbeitende beachten sollte.

Im April 2019 gründen Feld, Rinner, Wolff und Schricker die adiutaByte GmbH – eine Kombination aus dem lateinischen Verb »adiuvare« (helfen, unterstützen) und dem Fachbegriff »Byte«. Ein halbes Jahr später beteiligt sich der Fraunhofer-Technologie-Transfer-Fonds, der in Fraunhofer-Start-ups investiert, an der GmbH.

Schnelle Unterstützung beim Dienstplan-Sudoku

Das Leben der jungen Entrepreneure ist zunächst geprägt von vielen Unsicherheiten und Herausforderungen: kein festes Gehalt mehr, dafür extrem viel Arbeit – und immer zu wenig Platz. »Wir hatten am Anfang drei Schreibtische für vier Mitarbeitende«, erinnert sich Feld. Ihre Begeisterung für die Digitalisierung als eine Antwort auf den Pflegenotstand wird dadurch nicht geschmälert. Um Kunden zu gewinnen, präsentiert sich adiutaByte auf Messen. Dort entsteht der Kontakt zur MEDIFOX DAN Gruppe mit Sitz in Hildesheim – ein Unternehmen, das Softwarelösungen für Pflege und Therapie entwickelt und vertreibt.

»Anfangs herrschte bei MEDIFOX DAN eine gewisse Skepsis, ob Algorithmen und KI im Alltag der Pflegedienste akzeptiert



Algorithmen von adiutaByte sollen Pflegenden mehr Zeit schenken für die Sonnenseiten des Jobs.

würden«, sagt Feld. Doch die Optimierungslösungen von adiutaByte können überzeugen, weil sie den Pflegenden schnell spürbare Entlastung bringen. »Selbst kleine Pflegedienste beschäftigen in der Regel eine halbe bis eine volle Kraft, die ausschließlich die Touren ausarbeitet. Hinzu kommen noch Dienststellung und Dokumentation«, erklärt Feld. »Dank unserer Algorithmen sparen die Planer täglich viele Stunden, die sonst für zeitintensive Aufgaben wie Routenplanung und das Dienstplan-Sudoku draufgehen. Diese Zeit können sie nun wieder in die Pflege investieren.«

Im Dezember 2021 übernimmt MEDIFOX DAN die Geschäftsanteile von adiutaByte für 2,4 Millionen Euro. Im November 2022 kauft das Unternehmen ResMed mit Sitz in San Diego, Kalifornien die MEDIFOX DAN Gruppe für eine Milliarde US-Dollar. »Wir werden bei ResMed als eine der Kronjuwelen in der Firmengruppe gehandelt«, freut sich Geschäftsführer Feld. Die in Sankt Augustin entwickelten Optimierungsverfahren haben das Potenzial, die Softwarelösungen von ResMed entscheidend zu verbessern. Denn adiutaByte bietet nicht nur Algorithmen für die Touren- und Einsatzplanung, sondern hat auch KI-Module programmiert, die emotionale und empathische Aspekte bei der Pflege- und Dienstplanung berücksichtigen. Mittels Mustererkennung und Maschinellem Lernen wird unter anderem die Beziehung der Pflegenden zu Klienten

analysiert. So lässt sich beispielsweise eine »Wunschkraft« für Patientinnen und Patienten bestimmen und die Tourenplanung automatisch darauf anpassen. Und das sei mehr als nur ein sympathisches Extra, betont Feld: »Eine optimierte Routenplanung nutzt wenig, wenn eine ältere

Dame einem unbekanntem Pfleger nicht die Tür öffnet.«

Zeit einsparen, um mehr Zeit zu haben

Da die Softwarelösungen der ResMed neben den USA auch in vielen anderen Ländern auf dem Markt sind, kann die adiutaByte-Technologie demnächst von ambulanten und stationären Pflegediensten weltweit genutzt werden: ein enormer Erfolg für eine Ausgründung, die erst seit fünf Jahren am Markt ist. Gestartet mit einem Jahresumsatz von 30 000 Euro, rechnet das Unternehmen mit seinen aktuell rund 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für 2025 mit etwa zwei Millionen Euro Umsatz. Mehr als 700 Pflegedienste in Deutschland nutzen die Software und haben damit im Jahr 2023 über eine halbe Million Stunden Zeit für die Pflege am Menschen eingespart.

Bei adiutaByte ist man überzeugt, dass Hightech für den Pflegebereich künftig eine zentrale Rolle im Kampf gegen den Pflegenotstand spielen wird. »Immer weniger Menschen arbeiten in der Pflege, während der Bedarf stetig steigt«, fasst Feld das Dilemma zusammen. Mithilfe von Zahlen und Algorithmen könne man den Pflegekräften letztendlich Zeit schenken – und auch den Beruf wieder attraktiver machen: »Es lohnt sich, dafür viel Herzblut einzusetzen.«

»Unsere Algorithmen sparen Pflegediensten täglich viele Stunden ein, die sonst für zeitintensive Aufgaben wie Routenplanung und Dienstplan-Sudoku draufgehen.«

Dr. Dustin Feld, Co-Founder
adiutaByte GmbH



Das Gründungs-Team von adiutaByte: Dr. Dustin Feld, Vanessa Wolff und Eric Schricker (v.l.n.r.)



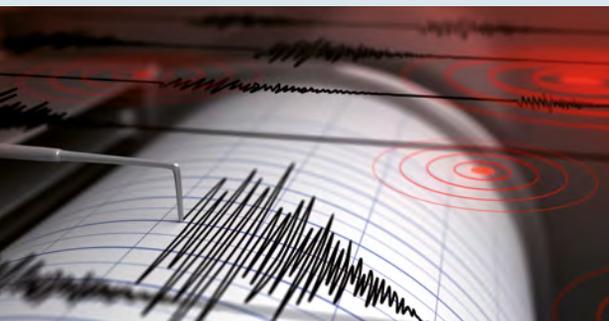
VEREINTE NATIONEN

**Globale KI-Initiative:
Standards für das Kata-
strophenmanagement**

Die »Global Initiative on Resilience to Natural Hazards through AI Solutions« hat sich zum Ziel gesetzt, praxisnahe KI-Standards zum Schutz vor Naturkatastrophen weltweit zu entwickeln. Unter der Leitung des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Instituts, HHI arbeiten die Forschenden dabei eng mit fünf UN-Organisationen sowie Experten aus Industrie und Regierungen zusammen. Nationale Pilotprojekte zeigen die Vielfalt der Ansätze: In Deutschland testet QuakeSaver eine KI-gestützte Erdbebenerkennung, während das BEYOND Center in Griechenland Waldbrände analysiert und das Barcelona Supercomputing Center Sturmvorhersagen optimiert. Bereits etablierte Systeme wie ein indisches Frühwarnsystem für Naturkatastrophen oder die europäischen Wetterprognosen des ECMWF belegen das Potenzial der Technologie.

Ein besonderer Fokus liegt auf Regionen, die extrem häufig von Naturkatastrophen betroffen sind. KI hilft hier etwa bei der Erkennung von Erdbeben mittels SAR-Satellitenbildern, der Echtzeit-Regenbeobachtung durch Funk- und Satellitendaten sowie der frühzeitigen Detektion von Erdbeben und Tsunamis.

Künstliche Intelligenz unterstützt bei der Prognose von Naturkatastrophen.



Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Pillen-Produktion:
Wie lassen sich
Störungen in der
Lieferkette
vorhersagen?



ÖSTERREICH

KI analysiert Arzneimittelbedarf

Um Medikamenten-Engpässe frühzeitig zu erkennen, will ein österreichisches Forschungskonsortium Künstliche Intelligenz nutzen. Unter der Leitung von Fraunhofer Austria untersucht das Projekt REMEDY, wie sich bisher isolierte, heterogene Datenquellen intelligent verknüpfen lassen. Dazu zählen Infektionszahlen, Lagerbestände, Medikamentenlisten sowie Informationen zu Wirkstoffen, Lieferanten und globalen Krisen. Mithilfe

innovativer KI-Technologien wie natürlicher Sprachverarbeitung, neuronaler Netze und Wissensgraphen soll das System Störungen in der Lieferkette auswerten und Nachfrageschwankungen präzise vorhersagen. Der Evaluierungsprozess umfasst auch die rechtlichen Anforderungen an die KI-gestützte Analyse sensibler Daten. Sind die Ergebnisse positiv, soll in einem Folgeprojekt ein konkretes Prognosesystem entwickelt werden.



EUROPA Galaktische Archäologie

Mit einzigartigen Daten von rund zwei Milliarden Sternen hat das Weltraumteleskop Gaia in den vergangenen Jahren die exakte Vermessung der Milchstraße möglich gemacht. Für das Radialgeschwindigkeits-Spektrometer des Teleskops, das die Dynamik von Himmelskörpern anhand von Änderungen im Lichtspektrum erfasst, entwickelten Forschende des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF ein spezielles Transmissionsgitter. Dieses ermöglicht selbst unter extremen Welt-raumbedingungen präzise Messungen

der sogenannten Rotverschiebung. Die Gitterstruktur des Bauteils ist eine Metaoberfläche. Das heißt, sie besteht aus winzigen Mustern, die kleiner als die Wellenlängen des Lichts sind und mittels hochauflösender Elektronenstrahlithografie erzeugt werden. Diese Nanostruktur spaltet das Sternenlicht in seine einzelnen spektralen Bestandteile auf. So lassen sich Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der Sterne relativ zur Erde exakt berechnen. Nach elf Jahren wurde die Raumsonde Gaia nun in ihre wohlverdiente »Rentenumlaufbahn« geschickt.



EUROPA Fraunhofer-App macht Luftqualität sichtbar

Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, HHI hat die kostenlose Augmented-Reality-App DEVA (Dynamic Exposure Visualization App) entwickelt, die Luftverschmutzung in Echtzeit sichtbar macht. Schadstoffe wie CO₂, NO₂ oder Feinstaub erscheinen darin als schwebende Partikel im dreidimensionalen Raum um die Position des oder der Nutzenden herum – eine Visualisierung, die das Bewusstsein für lokale Umweltbedingungen schärfen soll.



Feinstaub schädigt langfristig die Atemwege sowie das Nerven- und Herz-Kreislauf-System.

DEVA greift dafür auf Datenquellen wie das weltweite Sensornetzwerk Sensor.community und die Verkehrsdatensammlung von Telraam zu. Ergänzend liefert ein Google-Dienst Modellwerte für Regionen ohne eigene Messstationen. Neben der Visualisierung bietet DEVA die Möglichkeit, Routen aufzuzeichnen, um die Luftqualität entlang eines Weges zu messen. Die App entstand im Rahmen des EU-Projekts H2020 COMPAIR, um die Auswirkungen verkehrsberuhigter Zonen auf die Luftqualität zu beurteilen. Dank einer modularen Struktur lassen sich relativ einfach weitere Umweltmessdaten integrieren und visualisieren – Potenzial sowohl für individuelles Verhalten als auch für politische Entscheidungsprozesse. Die App ist im Apple Store und Google Play Store verfügbar.



EUROPA Intelligente Stahlproduktion

Um den ökologischen Fußabdruck der europäischen Stahlindustrie zu verringern, entwickeln elf Partner aus Industrie und Forschung im EU-Projekt DiGreeS unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP und gefördert von der Europäischen Union eine intelligente Plattform für die vernetzte Stahlproduktion. Durch die Verknüpfung von Schlüsseltechnologien – darunter Digitale Zwillinge, Künstliche Intelligenz und hochpräzise Softsensoren – verbessert die Plattform kontinuierlich die Nutzung zentraler Prozessdaten. Simulationen, präzise Prognosen und vorausschauende Prozessanpassungen ermöglichen zudem eine ressourcenschonende Steuerung in Echtzeit, eine Optimierung des Energieverbrauchs und der Produktionsgeschwindigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette und ver-



Die Herstellung von Stahl verursacht rund 28 Prozent der gesamten Industrie-Emissionen in Deutschland.

bessern nachhaltig die Produktqualität. Ziel ist, die CO₂-Emissionen der europäischen Stahlindustrie um bis zu sechs Millionen Tonnen pro Jahr zu senken und Kosten von bis zu 800 Millionen Euro einzusparen.

Auf dem Weg zum Freischwimmer

Photovoltaik-Anlagen auf Seen boomen weltweit. In Deutschland hingegen ist das energetische Potenzial der Binnengewässer noch weitgehend ungenutzt. Ein Fraunhofer-Projekt will der Technologie den Wasserweg ebnen.

Von Beate Strobel

Energiernte im Mega-Maßstab: Die größte schwimmende Photovoltaikanlage der Welt bedeckt einen Stausee in der chinesischen Provinz Shandong mit sagenhaften 600 000 Paneelen – das entspricht einer Fläche von rund 800 Fußballfeldern. Der Solarpark ist angelegt auf 320 Megawatt und wird ergänzt durch einen Windpark an Land mit weiteren 100 Megawatt Kapazität. Seit Inbetriebnahme vor vier Jahren hat das Kraftwerk laut Unternehmensangaben 1,26 Terawatt Strom produziert. So viel verbraucht in etwa eine Großstadt mit knapp einer Million Einwohnern pro Jahr.

Von derlei Mega-Werten ist der Morkasee in der Lausitz weit entfernt. Seit November 2024 schwimmen drei PV-Anlagensysteme mit insgesamt 190 Modulen und jeweils rund 30 Kilowatt Leistung auf dem

ehemaligen Tagebausee nahe der Gemeinde Lohsa. Doch das Ziel ist groß: »Unser Forschungsvorhaben fokussiert auf die Faktoren, mit denen schwimmende PV-Anlagen im Megawatt-Maßstab nachhaltig und wirtschaftlich errichtet und betrieben werden können«, erklärt Dr. Stefan Wieland. Seit 2021 leitet der promovierte Physiker am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Vorhaben PV2Float – das »erste Großforschungsprojekt zu schwimmenden PV-Kraftwerken in Deutschland«. Neben dem Fraunhofer ISE und der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg ist auch die RWE AG Teil des Konsortiums. Der nordrhein-westfälische Energieriese bringt nicht nur Erfahrung aus dem Betrieb großer Freiflächen-Solaranlagen mit, sondern hat bereits in den ►

Sonne einfangen:
Die schwimmende
PV-Anlage auf dem
Cottbuser Ostsee ist
aktuell die Größte ihrer
Art in Deutschland.

Niederlanden auf einem ehemaligen Kühlwassersee eine PV-Anlage zu Wasser gelassen. Von PV2Float erhoffen sich die Forschungspartner nun entscheidende Erkenntnisse etwa über geeignete Materialien für Floating PV (FPV), über Möglichkeiten zur Kostenreduktion sowie die ökologischen Auswirkungen der Technologie auf das Gewässer.

Getestet werden dafür unter anderem PV-Module, Rückseitenfolien und Ummantelungen sowie Stecker, Steckverbindungen und Kabel auf Feuchteinträge und Materialabnutzung: Wie lange funktionieren sie auch im Wasser zuverlässig, wie groß sind Verschmutzung und Wartungsaufwand? Ergänzt werden die Messergebnisse unter Realbedingungen durch Prüfverfahren im Labor, in denen die einzelnen Bestandteile der PV-Anlage verschiedenen Stressfaktoren künstlich ausgesetzt werden und somit in einer Art Zeitraffer die Materialdegradation ermittelt wird. Wieland: »Die beschleunigte Alterung lässt dann Rückschlüsse auf die wahre Alterung unter realen Bedingungen zu.«

Auf der Spur des Wasserkühleffekts

Solaranlagen das Schwimmen beizubringen und Floating PV zu einem festen Bestandteil der Energiewende zu machen, ist ein noch junges Bestreben in Deutschland. Dabei könnte FPV den dringend benötigten Ausbau klimafreundlicher Energiequellen substanziell bereichern, betont Wieland. Denn anders als Solaranlagen auf dem Festland entschärft schwimmende PV Landnutzungskonkurrenzen, denen klassische PV-Freiflächenanlagen unterworfen sind. Die Technologie ermöglicht zudem eine sinnvolle Verwendung der vielen Seen, die durch den Kohleabbau oder bei der Kiesgewinnung entstanden sind und weiterhin entstehen.

Erste Hinweise gibt es außerdem darauf, dass das kühle Wasser unterhalb der PV-Module die Stromausbeute erhöht. Wie groß dieser Wasserkühleffekt tatsächlich ist, soll in PV2Float geprüft werden, indem die produzierte Energiemenge der FPV in Kontrast gesetzt wird zu einer Referenzanlage an Land im badischen Freiburg. Wieland: »Wir haben hier eine Möglichkeit gefunden, Faktoren wie unterschiedliche Einstrahlung und Windverhältnisse herauszurechnen und die Werte so vergleichbar zu machen.«

Bei PV2Float hat das Fraunhofer ISE zusammen mit RWE das Potenzial für schwimmende Photovoltaik für Deutschland ausgelotet. Das Ergebnis: Auf den 6043 künstlichen Seen wäre bereits eine Energieernte von in der Spitze bis zu 16,5 Gigawatt durch



»Deutschland wählt bei der Regulierung neuer Technologien meist den vorsichtigen Weg und lockert erst bei entsprechendem Wissensstand.«

Dr. Stefan Wieland, Fraunhofer ISE

Installation von PV-Modulen (Ost-West-Ausrichtung) möglich, wenn die aktuellen gesetzlichen Vorgaben für FPV eingehalten werden. Nicht in die Analyse einbezogen wurden Gewässer unter einem Hektar Fläche und solche, die in Naturschutzgebieten oder Biosphärenreservaten liegen.

Bis eine solche Energieernte eingefahren werden kann, ist allerdings noch viel zu tun. Hierzulande sind aktuell schwimmende PV-Anlagen mit knapp 40 Megawatt PV-Leistung in der Spitze in Betrieb. Deutschlands größter Solarpark zu Wasser fängt seit Sommer 2024 auf dem Cottbuser Ostsee die Sonne ein und soll mit einer geplanten Leistung von 29 Megawatt demnächst 8200 Haushalte mit Strom versorgen. Über 16 Hektar – etwa 22 Fußballfelder – erstrecken sich die Solarmodule auf dem Ostsee. Das klingt nach viel, macht aber nur ein Prozent der gesamten Oberfläche des Gewässers aus, immerhin Deutschlands größter künstlich angelegter See.

Dass die Industrie noch abwartend agiert, liegt vor allem an den strengen Vorgaben des Gesetzgebers: Im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Wasserhaushaltsgesetz ist festgelegt, dass maximal 15 Prozent der Seefläche von Solarmodulen bedeckt werden dürfen. Außerdem muss ein Mindestabstand von 40 Metern zum Ufer eingehalten werden. Diese Vorgaben limitieren die Energieernte und beschränken damit auch die Wirtschaftlichkeit schwimmender PV-Anlagen: Schon eine Verkleinerung des Mindestabstands auf 20 Meter ließe das Potenzial auf 14 Gigawatt Peak steigen, konstatiert Dr. Karolina Baltins, die am Fraunhofer ISE das Themenfeld PV-Kraftwerke leitet. Und: »Wären 35 Prozent Abdeckung erlaubt, stiege das tech-

nische Potenzial auf bis zu 45 Gigawatt Peak« – eine respektable Größe, die durchaus dazu beitragen könnte, dass Deutschland sein Ziel erreicht, bis 2030 jährlich rund 600 Terawattstunden Strom aus erneuerbaren Energien herzustellen. Um das zu erreichen, sollen unter anderem Solaranlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 215 Gigawatt installiert werden.

Was tut sich im Schatten der PV-Module?

Ein Forschungsschwerpunkt von PV2Float liegt deshalb auf der Frage, inwieweit die strengen Installationsregeln für schwimmende Photovoltaik wissenschaftlich begründet sind. »Deutschland wählt bei der Regulierung neuer Technologien meist den vorsichtigen Weg und lockert erst bei entsprechendem Wissensstand«, erklärt Stefan Wieland. Obwohl viele andere Länder hierbei anders agieren, ergibt das ökologisch sanftere Vorgehen durchaus Sinn. Denn eine schwimmende Solaranlage verschattet zum einen den darunterliegenden Teil des Sees und verändert zum anderen die Windverhältnisse an der Oberfläche. Beides kann die Durchmischung eines Gewässers beeinflussen. Das wiederum kann die Nährstoffkonzentrationen im Wasser verändern. Und das hat schlussendlich Auswirkungen auf Flora und Fauna im See – vom Mikroorganismus bis hin zum Fisch.

Auswirkungen auf das Ökosystem sollen in PV2Float von der BTU Cottbus geprüft werden. Zugleich will das Forschungsprojekt mittels Computersimulation die Größe der PV-Anlage weiter skalieren, um so herauszufinden, wie viel Seefläche belegt sein darf, bevor das Ökosystem voraussichtlich kippt. »Wir forschen vollkommen ergebnisoffen«, betont Stefan Wieland: »Wenn das Projekt eine ungünstige Beeinflussung des Ökosystems schon bei Einhaltung der aktuellen Gesetze ergibt, werden wir auch das publizieren.«

Es gibt aber auch Hinweise darauf, dass Floating PV sich sogar positiv auf das Ökosystem im See auswirken könnte. Durch die Verschattung der Oberfläche verdunstet beispielsweise weniger Seewasser, was etwa in der regenarmen Lausitz ein Vorteil sein kann. Zugleich erwärmt sich das Gewässer weniger – ein klares Plus in Zeiten des Klimawandels, da so das Algenwachstum im See gemindert wird.

Der lange Weg durch die Behörden

Schwimmende Photovoltaik boomt: Die weltweit installierte Gesamtleistung ist von rund zehn Megawatt

im Jahr 2014 gestiegen auf mehr als zwei Gigawatt im Jahr 2021. Um die Energieproduktions- und Klimaschutzchancen dieser Technologie in Deutschland besser nutzen zu können, müssen jedoch die Genehmigungsverfahren einfacher werden, betont Stefan Wieland. Zu diesem Punkt haben die Forschenden des Fraunhofer ISE innerhalb von PV2Float Interviews mit Behörden und Projektbetreibern in Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Rheinland-Pfalz geführt.

Basierend auf diesen Gesprächen entwickelten sie ein Ablaufschema für Genehmigungsprozesse, das auf den ersten Blick an das U-Bahn-Netz einer Großstadt erinnert. Auf dem langen Weg zum Baubeginn einer FPV sind je nach Standort und See-Typ Naturschutzbehörden und Bergbehörde, Bauamt und Gemeinderat, Wasserbehörde, Forstamt und andere Träger öffentlicher Belange (TÖB) involviert. »Selbst bei unserer kleinen Forschungsanlage im Morkasee war es nicht gerade einfach, eine Betriebsgenehmigung zu bekommen«, erinnert sich Wieland. Hinzu kam, dass am Boden des Morkasees eine relativ hohe Abrutschgefahr besteht, sodass die Anlage mit Betonblöcken verankert werden musste – was weitere Gutachten erforderlich machte. Wieland hat sich trotz des langen Genehmigungsprozesses einen positiven Blick bewahrt: »Da es uns gelungen ist, am Morkasee eine schwimmende Solaranlage zu installieren, sind wir uns sicher, dass dies auch bei sehr vielen anderen künstlichen Seen gelingen kann!« ■



Schwimmende Photovoltaik boomt: Die weltweit installierte Gesamtleistung ist von rund zehn Megawatt im Jahr 2014 gestiegen auf mehr als zwei Gigawatt im Jahr 2021.

Die Guten ins Töpfchen

Künstliche Intelligenz als Qualitätswächter: Bei der Aufgabe, Abweichungen von der Norm schnell und zuverlässig zu erkennen, sind KI-basierte Modelle dem Menschen deutlich überlegen. Und zwar unabhängig davon, ob es sich um Kekse, Mikrochips oder potenzielle Tumore handelt.

Von Beate Strobel

Kekse machen nicht nur glücklich, sondern dienen manchmal auch der Forschung.



Wenn Alexander Pamler mit dem KI-Mobil von Fraunhofer Austria auf Tour ist, hat der Wissenschaftler aus Graz immer Schokokekse dabei. Und das nicht für den kleinen Hunger zwischendurch, sondern für den großen Aha-Effekt: Mithilfe der Kekse und des Demonstrators »Optische Qualitätskontrolle mit KI« möchte er Unternehmen und deren Mitarbeitenden möglichst eindrücklich vermitteln, wie Künstliche Intelligenz zum Innovationstreiber für die industrielle Produktion werden kann.

»Einfach mal reinbeißen oder ein Stückchen abbrechen«, fordert Pamler dann in der Regel die Interessenten auf. Die Oberfläche des Cookies wird anschließend von einer Industriekamera von oben fotografiert und das Bild weitergeleitet an einen Rechner. Durch den Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand erkennt die KI sofort: Dieser Keks sieht definitiv nicht mehr so aus, wie er aussehen soll.

Bei einem kräftigen Biss ins Gebäckstück hätte man das vermutlich auch ohne KI hinbekommen. Doch was ist, wenn die Abweichung von der Norm nur minimal ist? Wenn also lediglich ein winziges Eckchen des Kekses abgebröselte wurde oder haarfeine Risse die Oberfläche durchziehen? Oder wenn es gar nicht mehr um einen Schokosnack, sondern um die möglichst schnelle und zuverlässige Erkennung von Anomalien in der Produktion hochpräziser Mikroelektronikchips geht?

Effizient trotz Datenmangel

Damit eine KI in der klassischen Cindarella-Aufgabe (»Die Guten ins Töpfchen, die Schlechten ins Kröpfchen«) reüssiert, muss sie zunächst einmal lernen, was die Norm ist und ab welchem Abweichungsgrad ein Fehler vorliegt. Beim traditionellen Vorgehen wird die Künstliche Intelligenz dafür mit riesigen Datenmengen trainiert: Bildern von perfekten Produkten sowie allen denkbaren Fehlervarianten. Das allerdings kostet nicht nur sehr viel Zeit, sondern ist mitunter auch gar nicht möglich – etwa, weil es bei einer

Produktionslinie so selten zu Anomalien kommt, dass gar nicht ausreichend Bildmaterial existiert.

Im Projekt ImageCop hat Fraunhofer Austria in Kooperation mit dem Halbleiter-Hersteller Infineon Technologies Austria eine neue Herangehensweise entwickelt: »Mangels einer statistisch repräsentativen Anzahl fehlerhafter Chips haben wir aus den bekannten Daten der zahlreichen guten Beispiele das KI-Verfahren ein Modell der Normalität lernen lassen – also das Modell eines einwandfreien Chips«, erläutert Projektleiter Dr. Ulrich Krispel von Fraunhofer Austria. »Ein Fehler wird dann als Abweichung von diesem Normalmodell erkannt.«

»In Summe liefert die Maschine die besseren Ergebnisse.«

Alexander Pamler,
Fraunhofer Austria

Besonders herausfordernd für das Training war die Tatsache, dass auch die »guten« Mikrochips nicht alle identisch aussehen, sondern hier ebenfalls eine gewisse optische Varianz besteht – etwa durch winzige Fussel auf der Oberfläche, die aber die Funktion nicht beeinträchtigen. Das Modell, das von den Fraunhofer-Forschenden im Rahmen von ImageCop erstellt wurde, lernte aber, mit diesen tolerierbaren Abweichungen vom Soll-Zustand zurechtzukommen. »Die Erfolgsquote unserer KI-Software liegt knapp unterhalb der einer sehr gut ausgebildeten, hochkonzentrierten und motivierten Person«, erklärt Alexander Pamler. Doch welcher Mitarbeitende ist schon von der ersten bis zur letzten Arbeitsminute fokussiert und motiviert bei der Sache? Die KI hingegen ist 24/7 im Einsatz, wird nicht müde und lässt sich auch nicht ablenken. All das verschafft ihr letztendlich dann doch einen Vorsprung gegenüber der menschlichen Detektions-

fähigkeit. Pamler: »In Summe liefert die Maschine die besseren Ergebnisse.«

Geld sparen und Leben retten

Die Spreu vom Weizen trennen: Die KI-basierte Anomalieerkennung bietet nicht nur in der industriellen Überwachung spannende Optionen, sondern könnte auch in anderen Branchen Anwendungsfelder finden, etwa in der Finanzwelt, in der Cybersicherheit oder bei der Betrugserkennung durch die Detektion abweichender Ereignisse oder Verhaltensweisen. Mit dem Projekt KI4Med will Fraunhofer Austria zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologien IPT die KI-basierte Anomaliedetektion zudem für den Einsatz in der Medizin weiterentwickeln. Im Fokus stehen dabei Gewebeproben, die bei Tumorverdacht während der Operation entnommen und bislang von Krebsspezialisten untersucht werden. »Das dauert im Schnitt 20 bis 40 Minuten – wertvolle Zeit, in der der Patient oder die Patientin weiterhin narkotisiert bleiben muss«, beschreibt Pamler das Szenario. »Solche Wartezeiten sind nicht nur ein zusätzliches Risiko für Komplikationen, sondern produzieren auch immense Kosten und belasten dadurch das Gesundheitssystem unnötig.«

Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Algorithmen, mit denen sich die Gewebeanalyse automatisieren lässt und dadurch nur noch wenige Sekunden dauert. Auf Basis von Daten aus der Optischen Kohärenztomographie (OTC) – ein bildgebendes Verfahren, das über Lichtwellen Gewebestrukturen sichtbar macht, ohne dass dafür das Gewebe zerstört werden muss – lernt die KI-Software, zwischen gesundem und krankhaft verändertem Gewebe zu unterscheiden. Und das so schnell, dass die Operation nach der histologischen Prüfung ohne große Zeitverzögerung fortgesetzt werden kann.

Bis es so weit ist, setzt Pamler aber bei Demonstrationen im KI-Mobil weiter auf Schokokekse, um die Menschen von den Potenzialen der KI als Anomaliedetektor zu überzeugen. Denn Kekse, so der Forscher, »Kekse mag ja jeder.« ■

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.

1. Preis: Dr. Kerstin Müller

Natürlich innovativ: Verformbare Kunststoffalternative aus Cellulose

In einer Welt, die von Plastik dominiert wird, sucht Dr. Kerstin Müller nach nachhaltigen Alternativen. In ihrer Doktorarbeit entwickelte sie ein biobasiertes und thermisch verformbares Material aus Cellulose und zeigte, wie es sich in einem industriellen Prozess herstellen lässt.

Von Mandy Bartel

Ihre Leidenschaft gilt der Natur. Als Hobbymykologin und Lebensmittelverfahrenstechnikerin ist Dr. Kerstin Müller überzeugt: »Man muss nicht alles neu erfinden – die Natur ist der schlaueste Designer.« In ihrer Doktorarbeit am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, wo sie heute die Gruppe für biobasierte Materialien leitet, suchte sie genau dort nach thermisch verformbaren, aber biologisch abbaubaren Alternativen für Plastik: in der Natur. Ihre Motivation liegt auf der Hand: Laut dem Wirtschaftsverband PlasticsEurope steigt die Menge an

weltweit produziertem Kunststoff jedes Jahr kontinuierlich, zuletzt auf 414 Millionen Tonnen 2023. Nur zehn Prozent davon sind biobasierte Kunststoffe aus stärke- und cellulosereichen Pflanzen. Das Problem: Sie sind weder so flexibel verformbar noch so vielseitig einsetzbar wie herkömmliches erdölbasiertes Plastik.

Vom Labor ins industrielle Verfahren

»Man muss die Struktur der einzelnen Komponenten verstehen, um ihnen eine neue Form geben zu können«,



»Man muss die Struktur der einzelnen Komponenten verstehen, um ihnen eine neue Form geben zu können.«

Dr. Kerstin Müller, Fraunhofer IVV

Aus dem Labor in die Praxis: Forscherin Dr. Kerstin Müller vom Fraunhofer IVV entwickelte nicht nur ein nachhaltiges Polymer, sondern auch den dazu passenden Extrusionsprozess.

sagt Kerstin Müller. Deshalb untersuchte sie zahlreiche biogene Strukturen von Chitin bis hin zu Proteinen auf ihre Tauglichkeit. Aufgrund ihres einfachen Aufbaus mit linearen Molekülketten und ihrer nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit eignet sich Cellulose aus Holz, Pflanzen oder Baumwolle am besten dafür – ohne dabei in Konkurrenz zu Lebensmitteln zu treten. Doch: »Aufgrund des starken Netzwerks aus Wasserstoffbrückenbindungen in der Cellulose ist der Energieaufwand, der zum Schmelzen des Polymers erforderlich wäre, so hoch, dass bereits vorher ein Abbau des Polymers stattfindet.«

Bisherige chemische Ansätze, dies zu umgehen, beeinträchtigten die Bioabbaubarkeit von Cellulose. Deshalb entwarf Kerstin Müller einen innovativen, rein physikalischen Modifikationsansatz: Zwischen den langen, steifen Molekülketten der Cellulose verwendete sie Polymilchsäuremoleküle als Abstandshalter. Mit diesen gut kompatiblen Molekülen schaffte sie Platz für mehr Flexibilität. Dafür werden die pflanzlichen Polymere vorübergehend in einer ionischen Flüssigkeit gelöst, um dann die Polymilchsäure einzubringen. So bleibt die natürliche Struktur der Cellulose und damit die Bioabbaubarkeit erhalten – und das Lösemittel kann wieder zurückgewonnen werden.

Mit Laborversuchen gab sich die Wissenschaftlerin jedoch nicht zufrieden. Sie überführte ihr neues Verfahren in einen industriellen Prozess, um es auch für einen größeren Maßstab zu optimieren und die Wirtschaftlichkeit der Materialherstellung zu verbessern. Die Mischung wird in einen sogenannten Extruder gegeben, eine in der Kunststoffverarbeitung gängige Anlage. »Die Idee an sich ist nicht neu – auch im Lebensmittelbereich werden natürliche Polymere mit Lösemitteln, in der Regel Wasser, extrudiert, um beispielsweise texturierte Proteine als Fleischersatz herzustellen«, erklärt Müller. »Polymer-Gel und Schmelze in einem Schritt zu blenden, hatte bis dato aber noch niemand ausprobiert.« Die ersten Versuche stellten sie sogleich vor eine Herausforderung. »Am Anfang blieb der Extruder stehen, ich musste ihn mühsam auseinanderbauen und von Cellulose-Batz befreien«, erinnert sie sich. »Aber zum Glück hat es danach geklappt.« Am Ende konnte sie zeigen, dass die Herstellung homogener Blends aus hochkonzentriertem Cellulose-Gel im Extrusionsprozess gut funktioniert und den Weg ebnen könnte für zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Das neue Material könnte sowohl als Mulchfolie, Baumwuchshülle oder biologisch abbaubarer Pflanzentopf zum Einsatz kommen als auch für Möbel oder andere Formteile Innenräumen verwendet werden. ■

Zum zweiten und dritten Preis ►

Bei der Herstellung bereits an die Entfernung denken: Dr. Patricia Erhard vom Fraunhofer IGCV ergänzte ihre innovativen Gießkerne für den 3D-Druck mit Sollbruchstellen.



2. Preis: Dr. Patricia Erhard

Schlickerbasierter 3D-Druck für die Gießerei

Vom Gullideckel bis zur Turbine – viele industrielle Bauteile entstehen mithilfe eines jahrhundertealten Verfahrens, dem Gießen. Dr. Patricia Erhard hat dieses Verfahren neu gedacht und bringt damit frischen Wind in die Gießereiindustrie. Ihr neuer Ansatz ermöglicht die Herstellung filigraner und robuster Gießkerne und damit auch präziserer und komplexerer Gussteile.

»Die Trocknungsbedingungen sind entscheidend für einen fehlerfreien und homogenen Schichtaufbau.«

Dr. Patricia Erhard

Um komplexe Innenkonturen in Guss-
teilen etwa für die Automobilindustrie
oder Medizintechnik abzubilden, werden
in der traditionellen Gießerei Sandkerne
verwendet. Hergestellt werden diese häufig mit
dem additiven Fertigungsverfahren Binder Jetting.
»Das Problem besteht darin, dass wir oft technische
Grenzen bei der Gestaltung der
Hohlräume in Gussbauteilen er-
reichen«, erklärt Patricia Erhard.
»Der Zielkonflikt zwischen me-
chanischer Festigkeit und der
Entformbarkeit, also dem Ent-
fernen der Kerne nach dem Guss,
schränkt unsere Möglichkeiten
ein.«

In ihrer Doktorarbeit entwi-
ckelte die am Fraunhofer-Institut
für Gießerei-, Composite- und
Verarbeitungstechnik IGCV tä-
tige Forscherin einen neuen An-
satz, mit dem sie die Hürden für
die industrielle Umsetzung der
Technologie senken will. Anstelle von trockenem
Quarzsand nutzt sie einen wasserbasierten Keramik-
schlicker mit der Konsistenz flüssiger Wandfarbe. Die
kleineren Korngrößen und der schichtweise Auftrag
der Suspension ermöglichen feinere Oberflächen-
strukturen und eine höhere Dichte als bisher. Durch
das anschließende Sintern werden die Kerne hochfest
und temperaturstabil. Damit eröffnen sich neue Mög-
lichkeiten für die Gestaltung filigraner Innenstruk-
turen in Hochleistungsgussbauteilen.

Filigranere Bauteile für viele Industrien

So vielschichtig wie ihr Verfahren sind auch dessen
Herausforderungen: Jede Schicht muss vor dem Be-
drucken mit dem Bindemittel getrocknet werden. Da
die schichtweise Trocknung sowohl die Materialei-
genschaften als auch die Prozesseffizienz beeinflusst,
lag ein großes Augenmerk ihrer Arbeit darauf. »Die

Trocknungsbedingungen sind entscheidend für einen
fehlerfreien und homogenen Schichtaufbau. Mit einer
geeigneten Trocknungskonfiguration konnte ich ein
dichtes Gefüge erreichen und die mittleren Rautiefen
gegenüber dem konventionellen 3D-Druck mit Sand
um etwa 90 Prozent auf 1,2 µm reduzieren«, so Er-
hard. Das Entfernen des Gießkerns aus dem fertigen

Produkt war eine weitere Her-
ausforderung, denn: »Je komple-
xer der Kern, desto schwieriger
ist es, ihn nach dem Guss wieder
aus dem Bauteil herauszulösen.«
Patricia Erhards Lösung: einge-
baute Sollbruchstellen. Dadurch
zerfällt der Gießkern bei der Ab-
kühlung in Scherben und lässt
sich leicht entfernen.

Die Vorteile des schlickerba-
sierten 3D-Drucks sind vielfältig:
Er ermöglicht feinere Schicht-
dicken, dichtere und stabilere
Gießkerne sowie geometrisch fle-
xible Formen. Dies führt zu prä-

ziseren Bauteilen mit hochkomplexen Innenstruktu-
ren. Ihre gewonnenen Erkenntnisse testete die
Forscherin auch in zwei praktischen Anwendungs-
fällen: So sind Kerne für Kühlstrukturen in Gussbau-
teilen, wie sie beispielsweise für wassergekühlte Elek-
tromotorengehäuse benötigt werden, derzeit nur
begrenzt filigran und damit effizient. Mit ihrem Ver-
fahren können nun hochfeste, temperaturstabile und
detailliertere Kühlkanäle gefertigt werden, die eine
bessere Wärmeableitung genau dort, wo die Wärme
entsteht, ermöglichen. Ein zweiter Use Case sind 3D-
gedruckte QR-Code-Formeinleger, mit denen die Bau-
teile über den Fertigungsprozess und potenziell die
gesamte Produktlebensdauer eindeutig gekennzeich-
net werden könnten. Darüber hinaus hat das von Pa-
tricia Erhard entwickelte Verfahren aber auch großes
Potenzial etwa zur Herstellung von komplexen Bau-
teilen für die Luft- und Raumfahrtindustrie oder me-
dizinischen Implantaten. ■

Die mittleren Rautiefen
konnten gegenüber
dem konventionellen
3D-Druck mit Sand
um etwa

90 %

reduziert werden.

3. Preis: Dr. Sarah Klein

Robuste und brillante Laserstrahlquellen

Laser sind ein wichtiger Grundpfeiler der technologischen Zukunft. Von der Luft- und Raumfahrt über Medizintechnik bis zur Kommunikation kommt heute kaum eine Branche ohne sie aus. Als Werkzeug in der Industrie sind sie präzise, effizient, schnell und nahezu verschleißfrei. Dr. Sarah Klein fand in ihrer Doktorarbeit einen Weg, Hochleistungsdiodenlaser und Faserlaser robuster und effizienter zu machen.

Laser faszinieren Sarah Klein seit der Schule: »Meine Begeisterung für Physik und insbesondere Lasertechnik begann in der frühen Schulzeit. Es fesselte mich, dass sich die Welt mittels physikalischer Zusammenhänge und Formeln beschreiben lässt – und wie vielseitig Laser sind.« So begann sie nach einer Ausbildung zur Elektronikerin ihr Physikstudium in Aachen, das sie mit Auszeichnung abschloss.

In ihrer Doktorarbeit beschäftigte sie sich mit der Weiterentwicklung von Diodenlasern – Laser, deren Licht mit Halbleitermaterialien erzeugt wird. Darin verband die Wissenschaftlerin des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT Physik mit Ingenieurwissenschaften und Forschung mit Anwendung. »Diodenlaser sind sehr klein und vielfältig. Man findet sie in der Gesichtserkennung von Smartphones genauso wie beim industriellen Laserschweißen. Zudem sind sie wichtiger Energiegeber für die laserbasierte Trägheitsfusion, die uns künftig eine neue Energiequelle erschließen könnte«, erklärt die Forscherin. »Aber sie sind etwas schlechter in Spektrum und Strahlqualität als andere Laser. Das wollte ich ändern.«

Optische Gitter als integrierte Spiegel

Dafür nutzte sie sogenannte Faser-Bragg-Gitter (FBG). Das sind Strukturen, die mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung in die Faser geschrieben werden und als wellenlängenselektive Spiegel wirken. Bislang finden sie vor allem Anwendung in der Sensorik und als faserintegrierte Spiegel für Faserlaser. »Für hoch-



Will die Lasertechnologie auf ein neues Level bringen: Dr. Sarah Klein, Fraunhofer ILT

Heute können Resonator-Spiegel direkt in Fasern mit einem Durchmesser von

100
Mikrometern
geschrieben werden.



Foto: Fraunhofer/Ralf Baumgarten

modige Fasern mit einem Durchmesser von mehr als 50 Mikrometern waren solche optischen Gitter zu Beginn meines Promotionsvorhabens kaum erforscht«, erklärt sie. »Heute können damit Resonator-Spiegel direkt in Fasern mit einem Durchmesser von 100 Mikrometern geschrieben werden.« Die Integration dieser Bauteile, die für die Rückkopplung und Verstärkung des Laserstrahls nötig sind, vereinfacht die Bauweise und erhöht die Robustheit der Strahlquellen. Da sich damit optische Elemente samt aufwendiger Justage einsparen lassen, sinken auch die Herstellungskosten.

Aufgrund ihrer Kompaktheit und Effizienz sind Diodenlaser beliebte Strahlquellen zum Pumpen von Festkörperlasern. Ihr Emissionsspektrum ist allerdings typischerweise um ein Vielfaches breitbandiger als das Absorptionsspektrum des Festkörperlaserkristalls. Um die Wellenlängen des Diodenlasers zu stabilisieren, nutzt die Forscherin ebenfalls ein direkt eingeschriebenes Faser-Bragg-Gitter. Als Rückkoppel-element eingesetzt, reduziert es die Bandbreite und sorgt dafür, dass alle in die Faser eingekoppelten Diodenlaser nur noch die gewünschte Wellenlänge emittieren. Dieses Vorgehen steigert die spektrale Brillanz und macht das optische Pumpen von Festkörperlasern wesentlich effizienter und kostengünstiger – ein enormer Vorteil für industrielle Anwendungen. So könnten die Erkenntnisse aus ihrer Doktorarbeit zu neuartigen Faser- und Diodenlasern führen, die effizienter und vielseitiger in verschiedenen Industrien einsetzbar sind und auch Zukunftstechnologien wie laserbasierte Trägheitsfusion beflügeln könnten.

Disziplin und Durchhaltevermögen bewies die Forscherin nicht nur in ihrer wissenschaftlichen Arbeit, sondern auch im Sport: Als amtierende Vize-Europameisterin und dreifache Deutsche Meisterin im Powerlifting weiß sie, was es heißt, Großes zu stemmen. »Die Promotion war allerdings noch ein Stück schwerer als meine Hanteln«, blickt sie zurück. ■

»Es fesselte mich, dass sich die Welt mittels physikalischer Zusammenhänge und Formeln beschreiben lässt – und wie vielseitig Laser sind.«

Dr. Sarah Klein, Fraunhofer ILT

Zu hohe Temperaturen, zu wenig Regen: Aufgrund des Klimawandels wächst die Waldbrandgefahr in Kalifornien seit Ende der 1980er-Jahre.



Foto & Fraunhofer

Brandgefährlich

Mindestens 29 Todesopfer, mehr als 16 000 Gebäude zerstört: Mit Schrecken hat die Welt im Januar auf die verheerendsten Waldbrände in der Geschichte Kaliforniens geblickt.

Mit einem neuen Löschverfahren möchte das Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI gemeinsam mit dem Unternehmen CAURUS Technologies dazu beitragen, Waldbrände in Zukunft effizienter zu bekämpfen.

Bisher lassen Löschflugzeuge ihre Ladung aus Sicherheitsgründen weit oberhalb des Brandherds in die Tiefe fallen. Winde und die Thermik verwehen dadurch einen Großteil des Wassers – nur eine geringe Menge erreicht das Feuer.

Beim neuen Verfahren wird das Löschwasser in einem verschlossenen Sack abgeworfen, der sich erst kurz über dem Brandherd öffnet. Ein spezieller Mechanismus erzeugt eine Aerosolwolke, deren Tröpfchen dem Feuer schnell Energie entziehen und es so innerhalb kurzer Zeit löschen können.

»Nahezu 100 Prozent der Wassermenge landen zielgenau in den Flammen«, erklärt Dr. Dirk Schaffner, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer EMI. Eine Kombination aus Sensoreinheit und Analysesoftware von CAURUS Technologies ergänzt das System, um auch den Wasserabwurf zu optimieren. Im Vergleich zur bisherigen Methode genügt so etwa ein Fünftel der Wassermenge, um einen gleich großen Brand zu bekämpfen.

Eine ähnliche Technologie nutzt die Feuerwehr bereits am Boden in Hochdruckdispersionsdüsen; in der luftgestützten Waldbrandbekämpfung war ihr Einsatz bisher nicht möglich.

Ein Prototyp der neuen Löschmethode wurde bereits erfolgreich getestet, ein großer Versuch außerhalb des Labors steht an. Der Bedarf wird immer dringender: Laut einer Studie der World Weather Attribution erhöht der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit für Großbrände im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten etwa um 35 Prozent.

Nach dem Vorbild der Sonne

Kommerzielle Energiegewinnung durch Laserfusion ist eine Zukunftsvision mit umwälzendem Potenzial. In den Forschungsprojekten PriFusio und nanoAR widmen sich mehrere Fraunhofer-Institute entscheidenden Fragen zu der Umsetzung, damit die Vision Wirklichkeit werden kann.

Von **Laura Rottensteiner-Wick**

Ein Durchbruch in der lasergetriebenen Trägheitsfusion gelang Forschenden des Lawrence Livermore National Laboratory im Dezember 2022. An der National Ignition Facility (NIF) in Kalifornien, USA, konnten Forschende mithilfe des weltweit stärksten Hochenergielasers ein Fusionsplasma zünden und zum ersten Mal mittels Laserträgheitsfusion einen Nettoenergiegewinn erzielen. Seither haben sie das Experiment mehrmals wiederholt und damit belegt, dass der Vorgang beherrschbar ist. Doch für kommerziell nutzbare Fusionskraftwerke müssen viele Schlüsseltechnologien erst noch zur Anwendungsreife entwickelt werden. »Die deutsche Industrie hat dafür dank ihrer herausragenden Position im Bereich der Hochleistungslaser und der optischen Technologien beste Voraussetzungen«, sagt Hans-Dieter Hoffmann, Abteilungsleiter Laser und Optische Systeme beim Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT. »Es kann gelingen, in dieser Zukunftstechnologie bedeutenden Mehrwert für Deutschland zu schaffen.«

Die Entwicklung und der Bau eines der weltweit ersten Fusionskraftwerke ist das erklärte Ziel des Forschungsministeriums BMBF. Im ersten Fraunhofer-koordinierten Fusions-Verbundprojekt PriFUSIO arbeiten das Fraunhofer ILT und das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF aktuell gemeinsam mit dem Laserzentrum Hannover und sieben Industriepartnern an wichtigen Fragen entlang der für Hochleistungsoptiken benötigten Prozesskette, der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit der Optiken und der daraus resultierenden Performance des Hochenergielasers. Das Projekt ist Teil des übergeordneten BMBF-Förderprogramms »Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk« mit einem Budget von zunächst rund einer Milliarde Euro. ▶

Blick in einen Laser-Vorverstärker an der National Ignition Facility (NIF): In Kalifornien wird seit 2009 zum Thema Fusion geforscht.

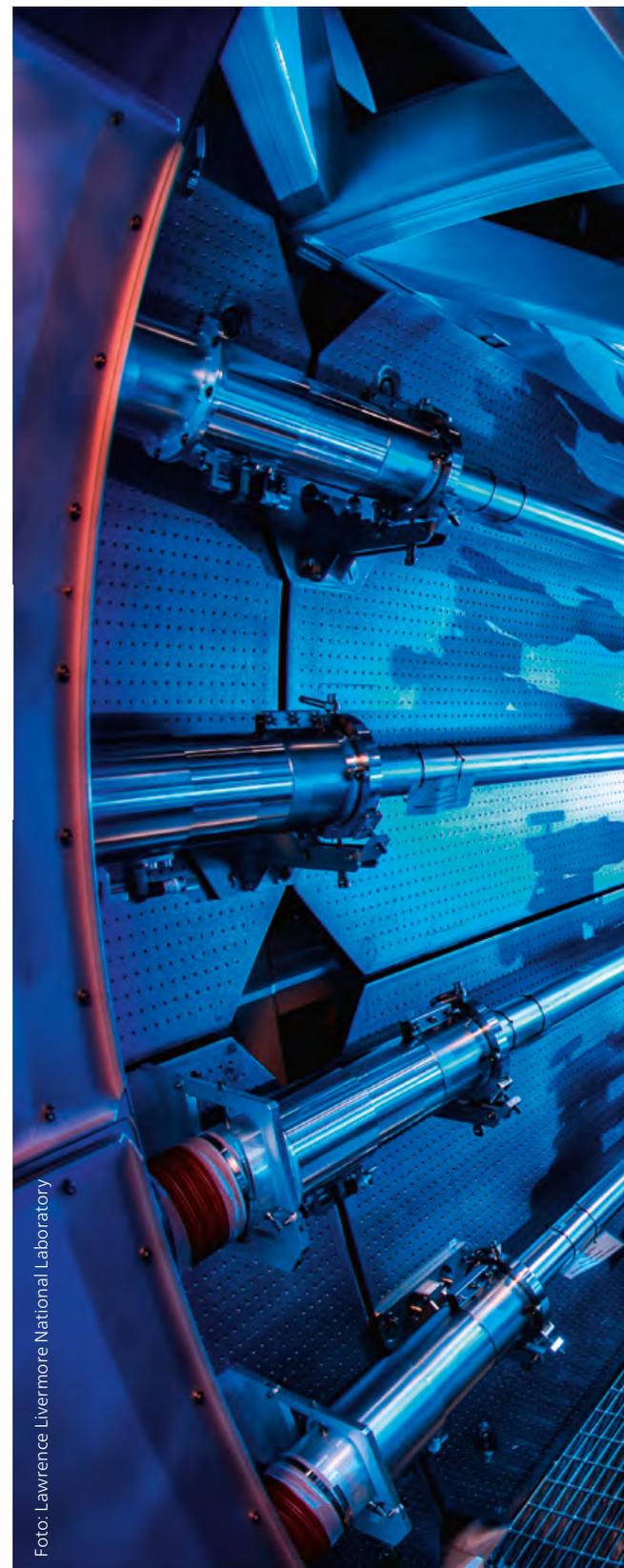
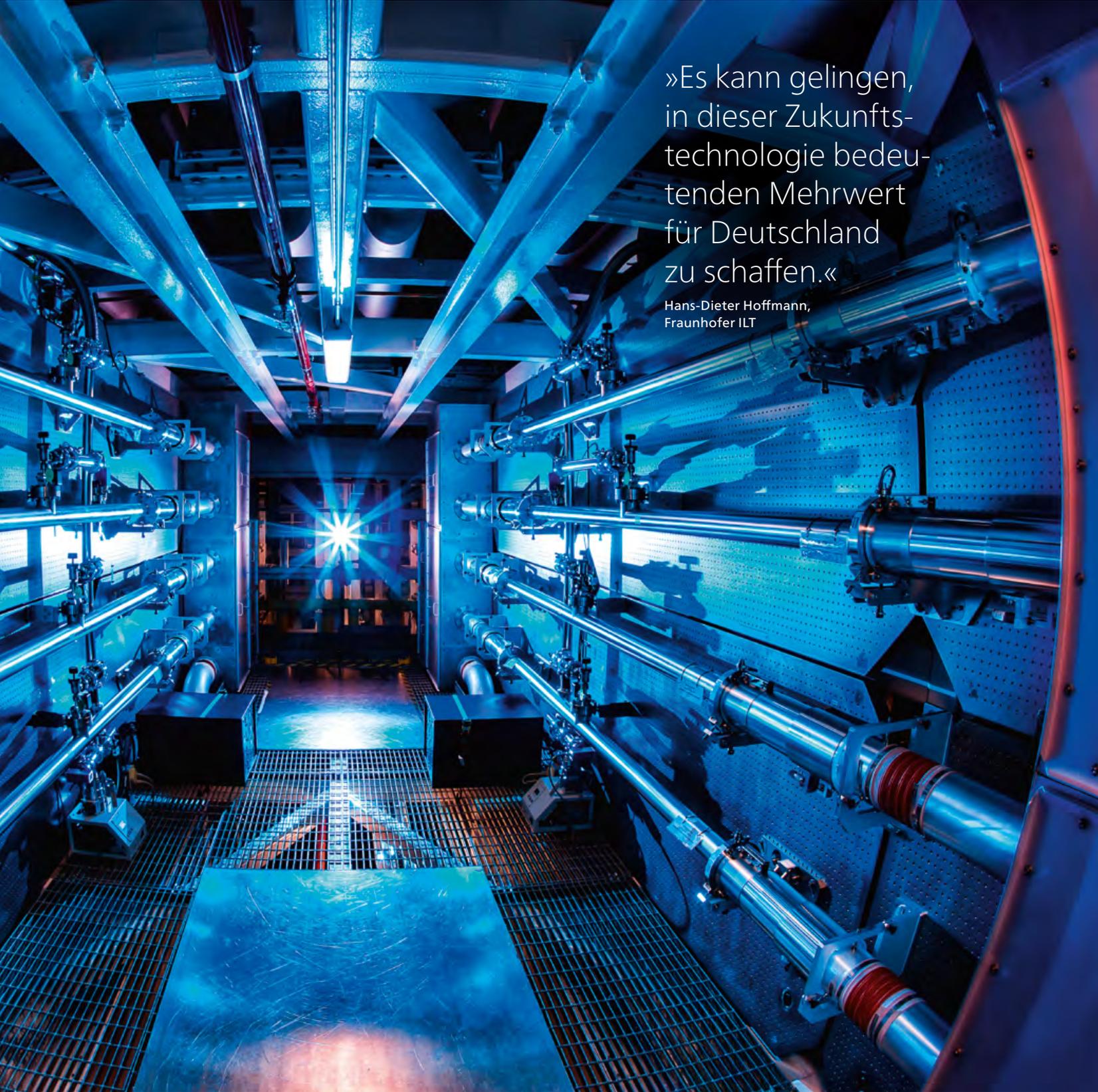


Foto: Lawrence Livermore National Laboratory



»Es kann gelingen,
in dieser Zukunfts-
technologie bedeu-
tenden Mehrwert
für Deutschland
zu schaffen.«

Hans-Dieter Hoffmann,
Fraunhofer ILT

Die Vision der Laserfusion ist faszinierend. Ein gelungener Kraftwerksbetrieb dieser nachhaltigen Energiegewinnung nach dem Vorbild der Sonne könnte die Energieversorgung revolutionieren. Ein Gramm Fusions-Brennstoff kann so viel Energie produzieren wie die Verbrennung von elf Tonnen Steinkohle, ohne dabei aber die entsprechenden Treibhausgasemissionen zu erzeugen.

Ein entscheidender Faktor, um diese Vision in die Wirklichkeit zu bringen, ist die Laserleistung. »Damit eine kommerzielle Nutzung gelingen kann, benötigen wir eine kraftwerkstaugliche Generation von Hochleistungslasern mit einer Steigerung der mittleren Laserleistung um etwa fünf Größenordnungen im Vergleich zur NIF-Anlage, die diesen hohen Belastungen außerdem auch langfristig standhält«, führt Hoffmann aus. Das stellt höchste Anforderungen an die Materialien, das Engineering und das hochkomplexe OptiksysteM. Die PriFusio-Forschenden arbeiten unter anderem daran, präzise beschichtete High-End-Optiken zu entwickeln, die den Leistungsanforderungen in den Reaktoren dauerhaft gewachsen sind. »Wir benötigen großflächige optische Elemente, deren Eigenschaften trotz der dauerhaft sehr hohen Energieeinträge stabil bleiben müssen«, bestätigt auch Dr. Falk Eilenberger, Abteilungsleiter Mikro- und nanostrukturierte Optik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF.

Einer innovativen Entspiegelung der benötigten optischen Elemente widmet sich das Fraunhofer IOF gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS und für Werkstoffmechanik IWM sowie sechs weiteren Partnern aus Forschung und Industrie auch im Forschungsprojekt »Entspiegelnde Metaoberflächen auf Materialien mit großer Bandlücke (nanoAR)«. »Mit unseren Verbundpartnern arbeiten wir an der Reduzierung von oberflächennahen Schädigungen sowie verschiedenen Methoden zur strukturellen Entspiegelung der in der Laserträgereffusion eingesetzten optischen Komponenten«, erklärt Dr. Astrid Bingel aus der Abteilung Funktionale Oberflächen und Schichten.

Physikerin Bingel ist beim Fraunhofer IOF für das Projekt verantwortlich. Für Naturwissenschaften hat sie sich schon zu Schulzeiten als einziges Mädchen im Physikkurs begeistert. »Die Physik stattet uns mit den nötigen Werkzeugen aus, uns an die verschiedensten Probleme heranzuarbeiten.« Heute leitet sie die Forschungsgruppe »Beschichtung auf Kunststoffen«. »Kunststoffe sind den hohen Anforderungen der Laserträgereffusion natürlich nicht

gewachsen. Aber die Entspiegelungs-Methodik durch eingetätzte Nanostrukturen nach dem Vorbild von Mottenaugen, die wir in nanoAR erforschen, wurde am Fraunhofer IOF ursprünglich für die Entspiegelung von Kunststoffen mit dem Plasmaätzverfahren AR-plas® entwickelt«, erklärt die Forscherin. »So kam ich zu diesem Projekt.« Mittlerweile verfolgt das Fraunhofer IOF verschiedene Ansätze zur Erzeugung anorganischer Nanostrukturen – vom Plasmaätzen bis hin zur Nutzung von Atomic Layer Deposition ALD (einem chemischen Verfahren zum Aufbringen extrem dünner Schichten) bis hin zu atomaren Monolagen.

Damit der Laser die Brennstoffkapsel gleichmäßig trifft, müssen seine Strahlen präzise ausgerichtet sein. »Der Weg der Laserstrahlen wird durch thermisch und mechanisch belastete optische Materialien gestört. Und das führt zu optischen Verlusten, die umso höher sind, je mehr Optiken

eingesetzt werden«, verdeutlicht Bingel. Auch beim Auftreffen des Laserstrahls auf die Brennstoffkapsel geht Energie verloren, weil deren Material und das entstehende Plasma einen Teil der Laserstrahlung reflektiert. Um die Reflexionsverluste zu reduzieren, werden Linsen schon heute durch sehr dünne, mehrlagige, hoch- und niedrigbrechende Antireflexschichten entspiegelt. Ein Problem der mehrlagigen Beschichtungen bei so hoher Beanspruchung ist aber die unterschiedlich starke thermische Ausdehnung der eingesetzten Materialien, die zu Defekten bis hin zur Zerstörung

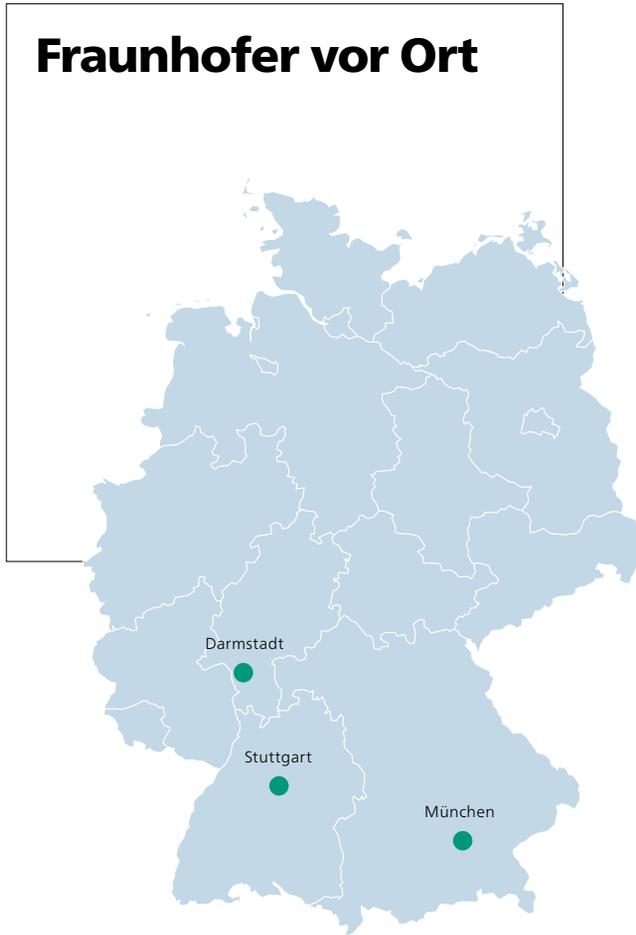
der Schichten führt und damit die Präzision und Lebensdauer der Anlagen negativ beeinflussen kann.

Die Projektpartner fokussieren deshalb auf alternative nanostrukturierte Entspiegelungsmethoden der optischen Elemente auf den benötigten großen Flächen. Projektziel ist ein Demonstrator mit bis zu 30 Zentimeter Durchmesser. »Wir wollen nachweisen, dass der Ansatz einer strukturellen Entspiegelung gezielt für Höchstleistungslaseranwendungen wie die Laserträgereffusion optimiert werden kann, und dabei möglichst gute Entspiegelungswirkungen unterhalb von 0,5 Prozent Restreflexion erreichen«, fasst Prof. Thomas Höche, Leiter des Geschäftsfelds »Optische Materialien und Technologien« am Fraunhofer IMWS, zusammen. Ein schöner Nebeneffekt: Wenn eine Entspiegelung so gut ist, dass sie sogar den massiven Anforderungen eines lasergetriebenen Trägereffusions-Kraftwerks standhalten kann, dann ist die Technologie später übertragbar auf praktisch alle anderen Anwendungsfelder für Hochleistungsoptiken. ■

Ein Gramm Fusions-Brennstoff

kann so viel Energie produzieren wie die Verbrennung von elf Tonnen Steinkohle.

Fraunhofer vor Ort



- 
Stuttgart
6.–9. Mai 2025
Control
 Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung
- 
München
2.–5. Juni 2025
transport logistic
 Weltleitmesse für Logistik, Mobilität, IT und Supply Chain Management
- 
Darmstadt
4.–5. Juni 2025
Fraunhofer Jahrestagung
- 
München
24.–27. Juni 2025
Laser
 Weltleitmesse und Kongress für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik
- 
München
24.–27. Juni 2025
automatica
 Leitmesse für intelligente Automation und Robotik

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>



Willkommen im Quantenjahr 2025!
Sicherheit, Energie, Industrie, Gesundheit
– wie Fraunhofer-Forschende die Quanten-
technologie in die Anwendung bringen:
Seite 36 bis 49.

