

# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

**Krieg, Energiekrise,  
Klimawandel**  
Wie kann Künstliche  
Intelligenz helfen?

## Schutz und Sicherheit

Neue Zeiten, neue  
Herausforderungen,  
neue Lösungen

Im Spiegel der Zeit

Caroline Schweitzer, Geschäftsführerin des  
Fraunhofer-Leistungsbereichs VVS, bei der  
Internationalen Luftfahrtmesse in Berlin

**Corona: Schneller, sicherer,  
objektiver informiert**  
So misst das mobile Fraunhofer-  
Labor die Virusbelastung

**»Cybersicherheit wird  
zur Daueraufgabe«**  
Digitalminister Volker  
Wissing im Interview



# The Quantum Breakthrough

---

**FUTURAS IN RES, Berlin**

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

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

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

## Editorial

# Bereit für die Zeitenwende

Sicherheit ist das Gebot der Stunde: Energiesicherheit und Liefersicherheit, Sicherheit der Versorgung und der Preise, dazu Cybersicherheit und die Sicherheit der Verteidigung. Die Sehnsucht nach Sicherheit mag emotional sein, die Erfüllung des Wunsches fordert die Ratio.

Über die Widersprüchlichkeiten, die es mit der Kraft der Vernunft aufzulösen gilt, spricht Deutschlands erster Digitalminister, Dr. Volker Wissing, in diesem Fraunhofer-Magazin. Auch in Zeiten von Cyberkriminalität und Cyberwar wiederholt er die Forderung nach einem »Digital First«, ohne sich von einem »Bedenken Second«, wie es seine Partei auf Wahlplakaten formuliert hatte, zu verabschieden. Volker Wissing im Interview: »Daten sind die Grundlage für digitale Geschäftsmodelle und innovative Lösungen. Ein Verzicht auf Daten ist ein Verzicht auf Chancen.« Das Lob des noch neuen Mannes im Amt gilt dem Digital Services Act, jenem Maßnahmenpaket, mit dem die Rechte der User im Internet europaweit gestärkt werden sollen, und der entschiedenen Zusammenarbeit der G7 zum digitalen Schutz. Im Cybersicherheitsrat arbeiten auch Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler mit Hochdruck an einem verbesserten Schutz für Wirtschaft und Nutzer.

**Wie Abhängigkeit die Sicherheit bedroht**, hat die Sorge um Gaslieferungen aus Russland im laufenden Putin-Feldzug dokumentiert. Deutschland und Europa sind nicht reich an Rohstoffen. Sie verfügen jedoch über einen Reichtum an Wissen und Information, an Bildung und Innovation. Das sind die Chancen, die es zu nutzen gilt in einer Zeit, in der so vieles Sichergeglaubtes so schnell infrage gestellt wird. Gerade noch war der Ausstieg aus fossilen Energieträgern nur mehr Teil der wirtschaftspolitischen Diskussion um die Zukunft der betroffenen Reviere; plötzlich sind Versorgungssicherheit und Preisstabilität der Energie zentrale gesellschaftspolitische Themen. Die Sicherheit der Zukunft benötigt eine Vielfalt an Bezugsquellen.

Deutschland braucht darüber hinaus Technologieoffenheit. Nur die Diversifizierung von Energiequellen wird beispielsweise sicherstellen können, dass sich Abhängigkeiten reduzieren – ganz besonders auch in der Mobilität. Die Zukunft gilt der Elektromobilität. Doch so wichtig Batteriezellen für



Prof. Reimund Neugebauer

den Straßenverkehr sein werden, so sicher ist auch, dass Wasserstoff zentraler künftiger Energieträger sein wird – gerade für Lkw und schwere Nutzfahrzeuge. Kurzfristig wird es nicht die eine umfassende Lösung für alle Energieprobleme geben können. Mittelfristig wird der Anteil der erneuerbaren Energien hochzufahren sein. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist Mitunterzeichner einer gemeinsamen Absichtserklärung, um sicherzustellen, dass in Deutschland ab dem Jahr 2024 mindestens 500 000 Wärmepumpen jährlich neu installiert werden können. Langfristig kann in einem Land, das fast drei Viertel seiner Energieträger importiert, Kernfusion ein hohes Potenzial entwickeln. Selbstverständlich ist die Umsetzung eines Mechanismus, der die Energiequelle der Sonne nachbildet, technisch hoch anspruchsvoll. Und doch gibt die Vision, aus einem Gramm Brennstoff in der Kernfusion so viel Energie zu gewinnen wie aus der Verbrennung von elf Tonnen Steinkohle, Zuversicht.

Ob Sicherheit, ob Energieversorgung, ob Mobilität – für unsere Gesellschaft gilt: Ein Verzicht auf Investitionen in die Forschung wäre ein Verzicht auf Zukunft.

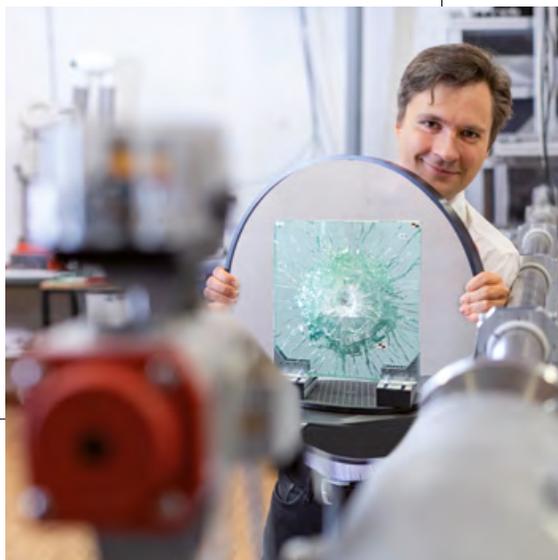
Ihr

Reimund Neugebauer  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

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



## Inhalt



10

**Titel**

## Sicherheit im Spiegel der Zeit

Neue Herausforderungen, neue Lösungen: Dr. Steffen Bauer (Foto), Fraunhofer EMI, entwickelt Verbundglas, das auch bei Dauerbeschuss Bestand hat.



48

## »Cybersicherheit wird Daueraufgabe«

Er ist Deutschlands erster Digitalminister. Er will das Analoge abschaffen. Im Fraunhofer-Interview warnt Dr. Volker Wissing vor den Risiken – erklärt aber auch, warum »ein Verzicht auf Daten ein Verzicht auf Chancen« wäre.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

10 Sicherheit im Spiegel der Zeit

Neue Entwicklungen, um Zivilbevölkerung und Soldaten im Krisenfall besser zu schützen

20 Sieben Thesen zur Zukunft der Wehrtechnik

Prof. Michael Lauster, Fraunhofer INT: Aktuelle Trends – und was seit 2500 Jahren Gültigkeit hat

22 Corona: Schneller besser informiert

Wie Abwassertestung mit dem mobilen Fraunhofer-Labor zu objektiven Zahlen über das Virus führt

38

**Cyberwar**

## Alarmstufe Rot im Cyberspace

Krieg im 21. Jahrhundert wird nicht nur auf Schlachtfeldern ausgetragen. Wie kann Deutschland resilienter werden?

38 Cyberabwehr für Deutschland

Prof. Haya Shulman (Foto) leitet die Abteilung »Cybersecurity Analytics and Defences« am Fraunhofer SIT. Ihre Warnung ist deutlich: »Dass man nichts merkt, heißt nicht, dass nichts passiert.« Malware könne jahrelang in Computersystemen schlummern – und die Hacker-Gruppen aus Russland seien in ihrem Vorgehen »äußerst professionell«. In dieser Lage fordert Prof. Shulman eine aktive staatliche Cyberabwehr für Deutschland

43 Der Kampf gegen die Lügen

Prof. Martin Steinebach entwickelt mit seinem Team am Fraunhofer SIT Verfahren der Text-, Bild- und Videoforensik, um Desinformationskampagnen einzudämmen – und so die Demokratie zu schützen

47 Wenn Quantencomputer angreifen

Klassische Verschlüsselung verliert ihren Schutz. Die Lösung heißt Post-Quantum-Kryptografie

48 »Cybersicherheit wird zur Daueraufgabe«

Im Interview: Dr. Volker Wissing, Bundesminister für Digitales und Verkehr

**24 Auf die Qubits ... fertig ... los!**

Welche Technologien sich bei Quantencomputern langfristig durchsetzen werden

**28 Besser gewappnet dank Künstlicher Intelligenz**

Krieg, Krisen, Klimawandel: So kann KI helfen, Wirtschaft und Gesellschaft mit Frühwarnsystemen widerstandsfähiger zu machen

**31 Zweiter Aufguss**

Die verborgenen Schätze im Kaffeesatz

**32 Stimme aus der Wirtschaft**

Die Lieferketten sind aus dem Takt: DIHK-Außenwirtschaftschef Dr. Volker Treier über das Umdenken, das wieder mehr Sicherheit schafft

**34 Alexa, wir müssen reden!**

Wie wir unsere Privatsphäre vor den allgegenwärtigen Sprachassistenten schützen können

## 31 Zweiter Aufguss

Kaffee ist das Lieblingsgetränk der Deutschen. Selbst im Kaffeesatz lässt sich noch viel Potenzial erschließen.



## 68 Die Suche nach der perfekten Pflanze

Die Sommer werden immer heißer, immer trockener. Röntgentechnik hilft bei der Suche nach hitzetoleranten Nutzpflanzen.

**35 Staffellauf des Wissens, Folge 5**

Bei Wasserstoff denken viele an die Knallgasreaktion – Herr Prof. Melz, wie sicher sind die neuen Technologien?

**52 Forschungspreise**

Joseph-von-Fraunhofer-Preise und Gründerpreis für exzellente Forschung

**62 Laser macht Krebszellen sichtbar**

Neues Laserscanner-Mikroskop für präzise und schnelle Kontrolle bei Operationen

**64 Die Müllabfuhr überlisten**

Proxidrugs für neue Therapien gegen bislang unheilbare Krankheiten – Krebs, Infektionen und Alzheimer

**66 Zeitgemäß mit Bus und Bahn unterwegs**

Wie kann es weitergehen nach dem 9-Euro-Ticket?

**68 Welche Nutzpflanzen trotzen der Hitze?**

Feldroboter und Röntgentechnik helfen Züchtern bei der Suche nach der perfekten Pflanze



52

## Forschungspreise

Seit 1978 zeichnet die Fraunhofer-Gesellschaft herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus – die aktuellen Gewinner des Gründerpreises 2022 sind André Weidauer (l.) und Christian Süß mit ihrer umweltschonenden Desinfektion von Saatgut.

**70 Fraunhofer international****72 Pflanzenschutz ohne Gift**

Die Angst vor Hunger ist groß. Weltweit wird ein Drittel der Ernte von Insekten gefressen. Ein neuer Weg zur umweltschonenden Bekämpfung

**74 Foto & Fraunhofer**

Wie Mantarochen zu einem Unterwasser-Roboter inspirierten

**77 Exzellenz besser messbar machen**

Neue Bewertungschancen für Ingenieurinnen und Ingenieure

**79 Fraunhofer vor Ort**

**Die Zahl der Cyberstraf­taten in Deutschland nimmt weiter zu. 2021 registrierte das Bundeskriminalamt einen neuen Höchstwert von 146 363 Angriffen, plus zwölf Prozent zum Vorjahr. Der Digitalverband Bitkom befragte 1000 Unternehmen in Deutschland. 86 Prozent beklagten Schäden durch Cyber­attackson – im Jahr 2021, also noch vor dem Ukraine-Krieg.**

86%



## Kurz gemeldet



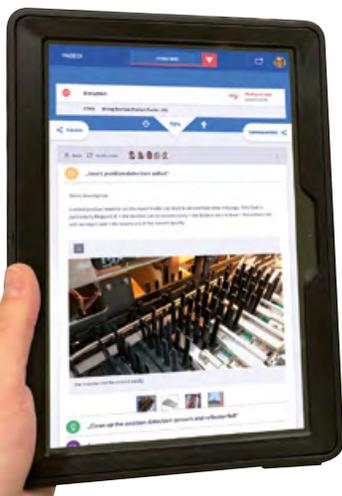
ecoSUP-Entwickler Christoph Pöhler vom Fraunhofer WKI hat mit seinem umweltfreundlichen Board gleich doppelt so viel Spaß beim »Suppen«.

## Nachhaltig paddeln mit dem ecoSUP

Mit dem Stand-up Paddle (kurz SUP) übers Wasser zu ziehen, bedeutet Freiheit und Entspannung – und ganz schön viel Plastik. Das wollen die Projektpartner von ecoSUP ändern und entwickeln mit einer Technologie des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI ein SUP aus nachwachsenden Rohstoffen. Für den Kern des Leichtbau-Sandwichelements nutzen die Forschenden Balsaholz aus ausgedienten Windrad-Rotorblättern. So haben sie gleichzeitig eine Lösung gefunden, diese hochwertig wiederzuverwerten. Künftig könnte der neue Bio-Verbundwerkstoff auch bei weiteren Wassersportgeräten, aber auch beim Bau von Gebäuden, Autos, Schiffen und Zügen zum Einsatz kommen. Bisher werden zur Produktion von Wassersportgeräten wie Surfbrettern erdölbasierte Materialien wie Epoxidharz, Polyesterharz, Polyurethan und expandiertes oder extrudiertes Polystyrol in Kombination mit Glas- und Carbonfasergeweben genutzt. Auch in anderen Branchen kommen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) zunehmend zum Einsatz. Der europäische Markt für GFK umfasste im Jahr 2018 rund 1,1 Millionen Tonnen und bietet somit ein hohes Einsparpotenzial an endlichen Ressourcen. ■

## Digitaler Helfer für die Produktion

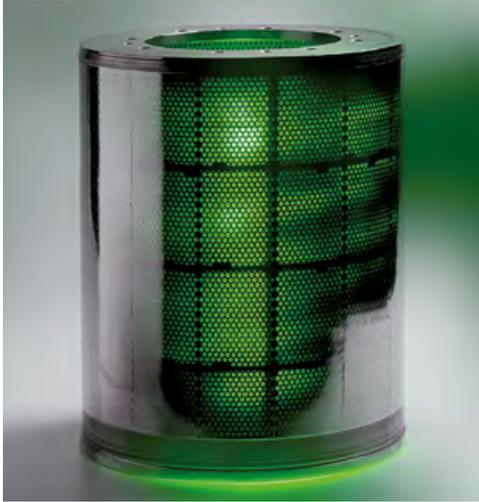
Klemmt der Einschieber oder ist der Sauger verstopft? Mit MADDOX kommt man den Ursachen von Störungen schneller auf die Spur.



Zeit ist Geld, gerade in der Produktion. Das selbstlernende Assistenzsystem MADDOX hilft, Störungen an Produktionsmaschinen in Zukunft schneller zu beheben – selbst dann, wenn zur Reparatur erfahrene Kolleginnen oder Kollegen nicht vor Ort sind. Entwickelt wurde der digitale Helfer von der Peerox GmbH, einem Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV. Mit Methoden des maschinellen Lernens analysiert MADDOX Maschinen- und Prozessdaten und sucht per Mustererkennung nach ähnlichen Störungen und deren Beseitigung in der Vergangenheit.

»Viele Produktionsbetriebe haben eine Effizienz von kaum mehr als 60 Prozent. Das liegt zum großen Teil daran, dass die Ursachen von Störungen nicht zeitnah behoben werden können«, sagt Andre Schult,

CEO der Peerox GmbH. Auch wenn umfangreiche Dokumentationen vorhanden sind, ist es im Fehlerfall und unter Zeitdruck eine große Herausforderung, die passenden Informationen zu finden. »Daher suchen wir mit MADDOX datenbasiert und nutzen Maschinendaten wie Druckverläufe, Temperaturen, Lichtschrankensignale oder Fehlercodes«, erläutert Schult. Ein selbstlernender Suchalgorithmus analysiert die Daten und bildet Klassen ähnlicher Datenmuster. Diese werden mit digitalen Wissenskarten verknüpft, auf denen die Mitarbeitenden Störungs- und Lösungsbeschreibungen mit Texten, Bildern und Videos dokumentieren. Tritt eine Störung ein, analysiert der Algorithmus die Datenmuster, sucht nach ähnlichen Klassen und schlägt dem User die verknüpfte Wissenskarte über ein plattformunabhängiges Tablet vor. ■



Im Mikroplastikfilter sind die Folien mit den Mikrolöchern auf einem größeren Raster befestigt, damit sie unter dem Wasserdruck nicht zerreißen.

## Mit dem Laser gegen Mikroplastik

Kläranlagen sind bisher kaum in der Lage, Mikroplastikteile vollständig aus dem Abwasser zu filtern. Einem Forscherteam ist es jetzt erstmals gelungen, einen lasergebohrten Abwasserfilter für Mikroplastik zu bauen. Er enthält Bleche mit extrem kleinen Löchern von nur zehn Mikrometern Durchmesser. Die Technologie, mit der sich die insgesamt 59 Millionen Löcher effizient bohren lassen, wurde am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt.

Per Multistrahlverfahren haben die Forscherinnen und Forscher mit einem Ultrakurzpuls laser mit 144 Strahlen gleichzeitig gebohrt. Die lasergebohrten Metallfolien wurden in den patentierten Zyklonfilter der KLASS Filter GmbH eingebaut und umfangreichen Tests unterzogen. Im ersten Versuch filterten die Forschenden erfolgreich Wasser, das mit feinem Pulver aus 3D-Druckern verunreinigt war. Der Aufbau wird jetzt unter realen Bedingungen in einem Klärwerk getestet. ■

## Pünktlich dank KI

Künstliche Intelligenz (KI) soll künftig dabei helfen, Verspätungen im öffentlichen Nahverkehr zu reduzieren. Entwickelt wurde die KI von einem Team des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) und der Universität Kaiserslautern. Die Forscherinnen und Forscher suchten nach einem effizienten Weg, Fahrpläne robuster zu gestalten, sodass sie kleinere Störungen und Verspätungen besser ausgleichen können.

Die Möglichkeiten sind begrenzt, Verzögerungen im Vorfeld entgegenzuwirken: Zwar könnten Fahrtzeiten, die Zeiten zwischen aufeinanderfolgenden Fahrten und die Wartezeiten an Haltestellen großzügiger bemessen werden. Doch geht das auf Kosten der Wirtschaftlichkeit. Das neue Verfahren könnte dabei helfen, Fahrpläne innerhalb von Millisekunden so zu optimieren, dass sie einen Kompromiss zwischen der Robustheit und den äußeren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Verkehrsbetriebe darstellen. Bislang sind für solche Fahrplanoptimierungen aufwendige Computersimulationen nötig, die die



Reiserouten für eine Vielzahl von Fahrgästen für verschiedene Szenarien errechnen. Eine einzige Simulation kann dabei schnell mehrere Minuten Rechendauer benötigen. Für eine Fahrplanoptimierung sind viele Tausend solcher Simulationen nötig. ■

Ein kurzer Stau während der Rushhour oder eine klemmende Tür – bereits kleine Verzögerungen können zu erheblichen Verspätungen führen.

## Pflaster ade

Eine elektronische Sehhilfe macht in Zukunft das Abkleben des gesunden Auges bei Kindern mit Amblyopie überflüssig. Bisher gab es für die funktionale Sehschwäche eines Auges nur diese Therapie. Das Pflaster wird jedoch von vielen Kindern aus Scham nicht getragen – der Trainingserfolg für das schwache Auge bleibt aus. Ein weiterer Nachteil ist das eingeschränkte räumliche Sehen.

Die neue Sehhilfe mit multimodaler Sensorintelligenz kann das gesunde Auge adaptiv verdunkeln und die Kinder beim korrekten Tragen unterstützen. Entwickelt wurde sie von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik IBMT. Dank der neuen Technologie lässt sich die Okklusion des Auges so steuern, dass sie bei bewegungsintensiven Aktivitäten (z. B. Laufen, Springen, Fahrradfahren) unterbrochen werden kann, um Unfälle aufgrund eines fehlenden räumlichen Sehvermögens zu vermeiden. Für die Steuerung der Brille sorgen intelligente Algorithmen, die durch eine effiziente Verarbeitung der multimodalen Sensordaten erstmals ein kontinuierliches Therapiemonitoring ermöglichen. ■



Bei Piratenspielen gehört eine Augenklappe dazu, ansonsten ist sie eher hinderlich.



Bei der Verbrennung von Methanol zu Kohlendioxid und Wasser entsteht eine bläuliche, kaum rußende Flamme.

## Wasserstoff besser nutzen

Einen kleinen energieeffizienten Reformer für die Umwandlung von Methanol in Wasserstoff hat ein Team des Fraunhofer-Instituts für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM für die mobile Anwendung entwickelt. Methanol lässt sich nicht nur deutlich leichter transportieren als Wasserstoff, sondern auch besser speichern. Um die im Methanol enthaltene Energie zu nutzen, wird es unter Zugabe von Wasserdampf wieder in Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid rückverwandelt – und zwar dort, wo der Wasserstoff benötigt wird, etwa im Auto.

Der kompakte Reformer braucht nur ein Sechstel des Platzes, den handelsübliche Geräte in einer vergleichbaren Leis-

tungsklasse einnehmen. Auch das Wärmemanagement – und somit die Energieeffizienz des Reformers – hat das Forscherteam optimiert, ebenso wie die Katalysator-technologie. »Wir setzen auf edelmetallhaltige Katalysatorbeschichtungen, bei denen keinerlei Abrieb entsteht – ähnlich wie beim Autokatalysator«, sagt Dr. Gunther Kolb, stellvertretender Institutsleiter und Bereichsleiter am Fraunhofer IMM. Während bei herkömmlichen Katalysatoren bei Teillastbetrieb – also dann, wenn der Reformer nicht ausgelastet ist – zunehmend Nebenprodukte wie Kohlenstoffmonoxid entstehen, ist dies beim Katalysator aus dem Fraunhofer IMM nicht der Fall. ■

**Impressum**

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

**Herausgeber:**

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

**Kostenloses Abonnement:**

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

**Redaktion:**

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

**Redaktionelle Mitarbeit:**

Dr. Janine van Ackeren, Marina Babl,  
Mandy Bartel, Christine Broll, Meike  
Grewe, Sirka Henning, Dr. Monika  
Offenberger, Moritz Schmerbeck,  
Tim Schröder, Franziska Sell, Claire  
Stark, Beate Strobel, Mehmet Toprak,  
Britta Widmann

**Layout + Litho:**

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie****der Titelstrecke:**

Gene Glover, Martin Wagenhan

**Fotografie Cyberwar:**

Gene Glover, Jonas Ratermann

**Druck:**

Zeitfracht GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2022

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



www.facebook.com/  
fraunhoferde



www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/  
fraunhofer



# Klimaneutrale Schifffahrt in Sicht

Die weltweit erste emissionsfreie, elektrisch betriebene Hochgeschwindigkeitsfähre geht im September im norwegischen Stavanger in den Linienbetrieb.



Der Name ist Programm: Medstrom bedeutet auf Norwegisch »mit Strom«.

Entwickelt wurde die »Medstrom« im EU-Projekt TrAM unter Beteiligung der Fraunhofer-Institute für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Durch modulares Engineering ist es den Fraunhofer-Forschenden gelungen, 70 Prozent der Konstruktionsstunden und 25 Prozent der Produktionskosten einzusparen – und so die klimaneutrale Schifffahrt kostengünstiger zu machen.

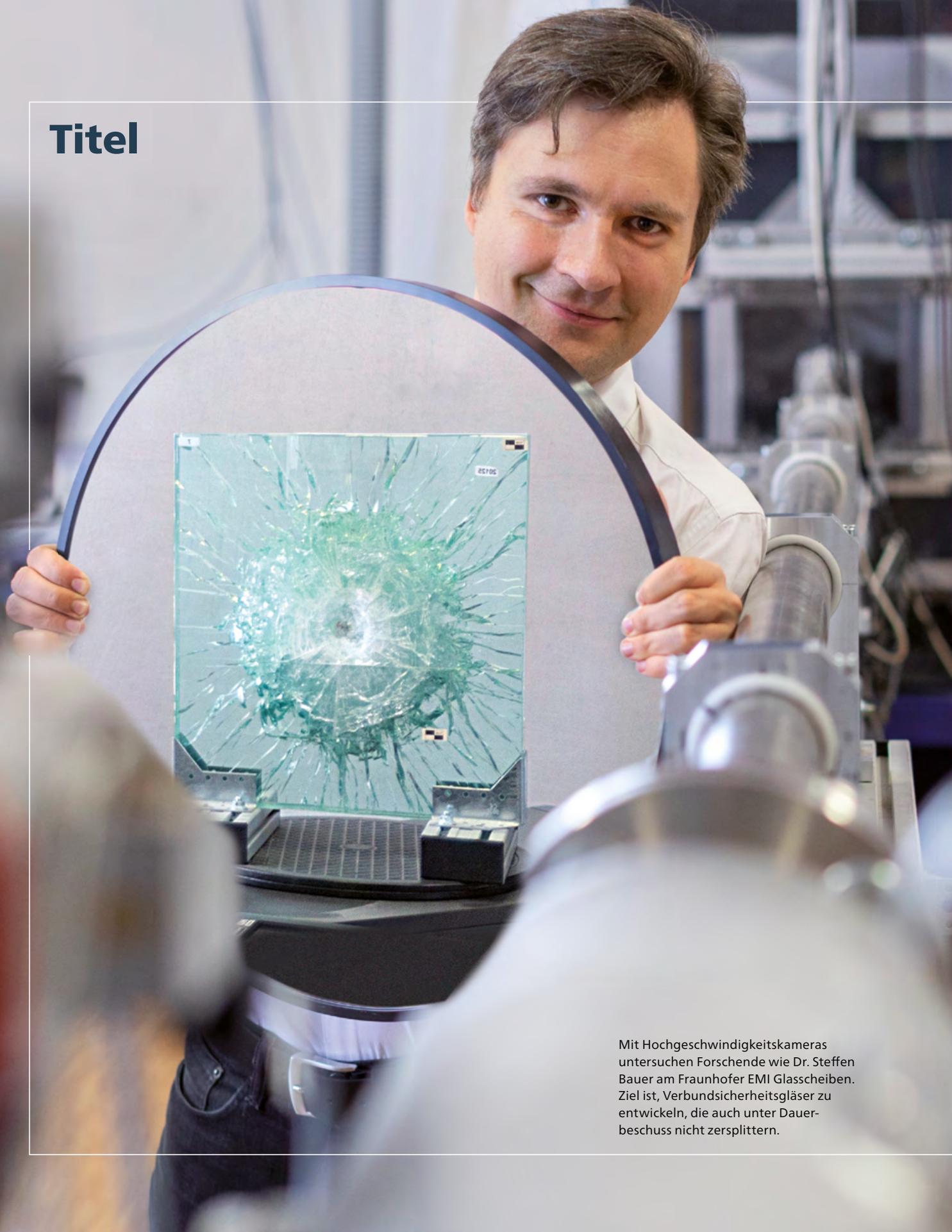
Um die umweltfreundlichen Fähren der Zukunft schneller und billiger produzieren zu können, nutzt das TrAM-Konsortium das Prinzip der Modularisierung, das in anderen Industrien wie der Luftfahrt oder im Fahrzeugbau weit verbreitet ist. Die Forschenden bauen das Systemmodell einer Fähre auf und wenden modulare Prinzipien an. So werden zum einen die Komplexität und die vielen Abhängigkeiten in der Entwicklung transparenter und leichter zu managen. Zum anderen können die entwickelten Module schnell und kos-

tengünstig auf neue Fährprojekte übertragen werden.

Im Projekt TrAM entstand eine vierteilige Plattform, aus der ein Schiff im Design-Prozess zusammengesetzt ist. Jeder Plattformbestandteil bietet standardisierte Schnittstellen: nach innen zu den unterschiedlichen Systemen, nach außen zu den anderen Plattformelementen. Das modulare Produkt muss mit einem auf die individuellen Bedürfnisse angepassten Produktionskonzept hergestellt werden, um möglichst viele Vorteile der Modularisierung nutzen zu können wie einheitliche Prozesse, Standardisierung oder Wiederverwendung.

Bisher ist die Schiffsentwicklung extrem komplex und aufwendig. Jede Fähre wird individuell designt und gebaut – ein langwieriger und kostenintensiver Prozess. Gerade bei alternativen Antrieben, bei denen jeder Mehrverbrauch die Reichweite drastisch einschränkt, ist eine sorgfältige Entwicklung enorm wichtig. ■

# Titel



Mit Hochgeschwindigkeitskameras untersuchen Forschende wie Dr. Steffen Bauer am Fraunhofer EMI Glasscheiben. Ziel ist, Verbundsicherheitsgläser zu entwickeln, die auch unter Dauerbeschuss nicht zersplittern.

# Sicherheit im Spiegel der Zeit

Resilienz und Verteidigungsfähigkeit, mehr Schutz für die Zivilbevölkerung und vor Cyberangriffen stehen plötzlich in der öffentlichen Diskussion. Fraunhofer arbeitet an intelligenten Lösungen – auch um die 100 Milliarden Euro Sondervermögen für die Bundeswehr bestmöglich einzusetzen.

Von Mehmet Toprak, Fotografie: Gene Glover, Martin Wagenhan

## Zivile Technik für den Krisenfall

### Schutz vor Projektilen

Labortests mit Computertomographie und Hochgeschwindigkeitskameras zeigen die Schädigungen, die Projektile an transparenten Flächen wie Verbundglasfenstern verursachen. Mit den Daten lässt sich der Schutz militärischer Fahrzeuge verbessern.

*Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI*

### Aufklärung

ABUL unterstützt mit vielfältigen, teils KI-basierten Funktionen die Auswertung der Bilder und Videostreams von Aufklärungsdrohnen. Die Technik wird unter anderem beim Bundeswehreinsatz in Mali verwendet.

*Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB*

### Energieversorgung

Innovative Konzepte sind das Ziel, um in Zukunft die Energieversorgung für Standorte, Einsatzinfrastrukturen (»Feldlager«) und Fahrzeuge aller Art mit nachhaltigen Energiequellen zu gewährleisten. Und damit auch die uneingeschränkte Einsatzbereitschaft sicherzustellen. Prof. Karsten Pinkwart: »Wir können auch in Sachen Energieversorgung bei der Bundeswehr nicht so weitermachen wie bisher und wollen mithelfen, die Streitkräfte auf das postfossile Zeitalter vorzubereiten.«

*Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT*

**Z**eitenwende« ist das Wort der Zeit. Ausgelöst ist sie vom russischen Präsidenten Wladimir Putin mit seinem Angriffskrieg gegen die Ukraine. In Deutschland umgesetzt ist sie vom Deutschen Bundestag, der ein 100-Milliarden-Euro-Sondervermögen freigibt und dafür mit großer Mehrheit das Grundgesetz ändert. Verändert hat sie den Blick vieler auf die Welt und die Fähigkeit des Landes, die Bundeswehr optimal aufzustellen und die Bevölkerung im Falle eines Falles optimal zu schützen. »Es gibt eine ganze Reihe positiver Signale, dass die Politik schnell handeln möchte, um die Landesverteidigung zu stärken«, stellt Prof. Jürgen Beyerer fest, Vorsitzender des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit, kurz: VVS, und zugleich Institutsleiter des Fraunhofer IOSB. Und Caroline Schweitzer, die Geschäftsführerin des Verbandes, verspricht: »Für die Verteidigungsfähigkeit unseres Landes können die Forschungsinstitute im VVS substanzielle Beiträge liefern.«

Der VVS ist ein Zusammenschluss von elf Fraunhofer-Instituten, die ihre Kompetenzen in den Forschungsbereichen bündeln, die für Sicherheit, Wehrtechnik oder Verteidigung relevant sind. Vertreter des VVS stellen dem Bundesministerium der Verteidigung, dessen nachgeordneten Behörden und der Bundeswehr regelmäßig ihre Expertise und ihr Know-how zur Verfügung.

Zivilschutz und Verteidigungsfähigkeit gehen dabei oftmals Hand in Hand. Denn mit dem breiten Spektrum an Technologien, an denen die Forschenden der Fraunhofer-Gesellschaft für Wirtschaft und Gesellschaft arbeiten, decken sie auch Themenbereiche ab, die für die Bundeswehr interessant sind. Beispiele hierfür wären etwa Technologien für die digitale Kommunikation von Einsatz- und Rettungskräften bei Katastrophen oder auch Technologien für die IT-Sicherheit von kri-

tischen Infrastrukturen. Solche Technologien stärken die Resilienz ziviler Systeme und schützen die Menschen bei Krisen und Katastrophen. Sie helfen gleichzeitig der Bundeswehr, ihre Einsätze optimal zu koordinieren, gegebenenfalls im Verbund mit anderen europäischen Ländern.

»Es zahlt sich jetzt aus, dass Europa schon vor der Ukraine-Krise beim Thema Verteidigung näher zusammengedrückt ist«, analysiert Schweitzer. »So wurde die Gemeinsame Sicherheits- und Ver-

teidigungspolitik (GSVP) der EU beschlossen und mit diversen Rahmenforschungsprogrammen flankiert. Fraunhofer gestaltet die Forschungsprogramme mit, außerdem arbeiten wir aktiv in europäischen Konsortien mit, in denen wir gemeinsam mit der Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten neue Technologien entwickeln.«

Caroline Schweitzer hat an zahlreichen Expertenkommissionen der NATO teilgenommen. Seit 2015 ist sie Geschäftsführerin des VVS. Schweitzer weiß, was in Deutschland beim Thema Verteidigung derzeit diskutiert wird, und sie weiß auch, was die Fraunhofer-Gesellschaft hier beizutragen hat.

Eine Aussage von Schweitzer

ist auch von anderen Fraunhofer-Forschenden immer wieder zu hören: Zwar löse der Krieg in der Ukraine Betroffenheit aus, doch Anlass zu einer Kursänderung sei er nicht. Der Ton ist nüchtern. »Wir müssen keine neuen Forschungsfelder aufmachen, denn wir sind in allen Technologiebereichen gut aufgestellt«, bestätigt auch Prof. Beyerer.

Zahlreiche Beispiele aus den VVS-Instituten zeigen, wie Fraunhofer-Forschung zur Verteidigungsfähigkeit beiträgt.

### »Unsere Soldaten besser schützen«

Verteidigung ist Selbstschutz. Die Tarnung von Fahrzeugen und Uniformen ist eine jahrhundertalte Praxis. Diese noch weiter zu perfektio- ▶

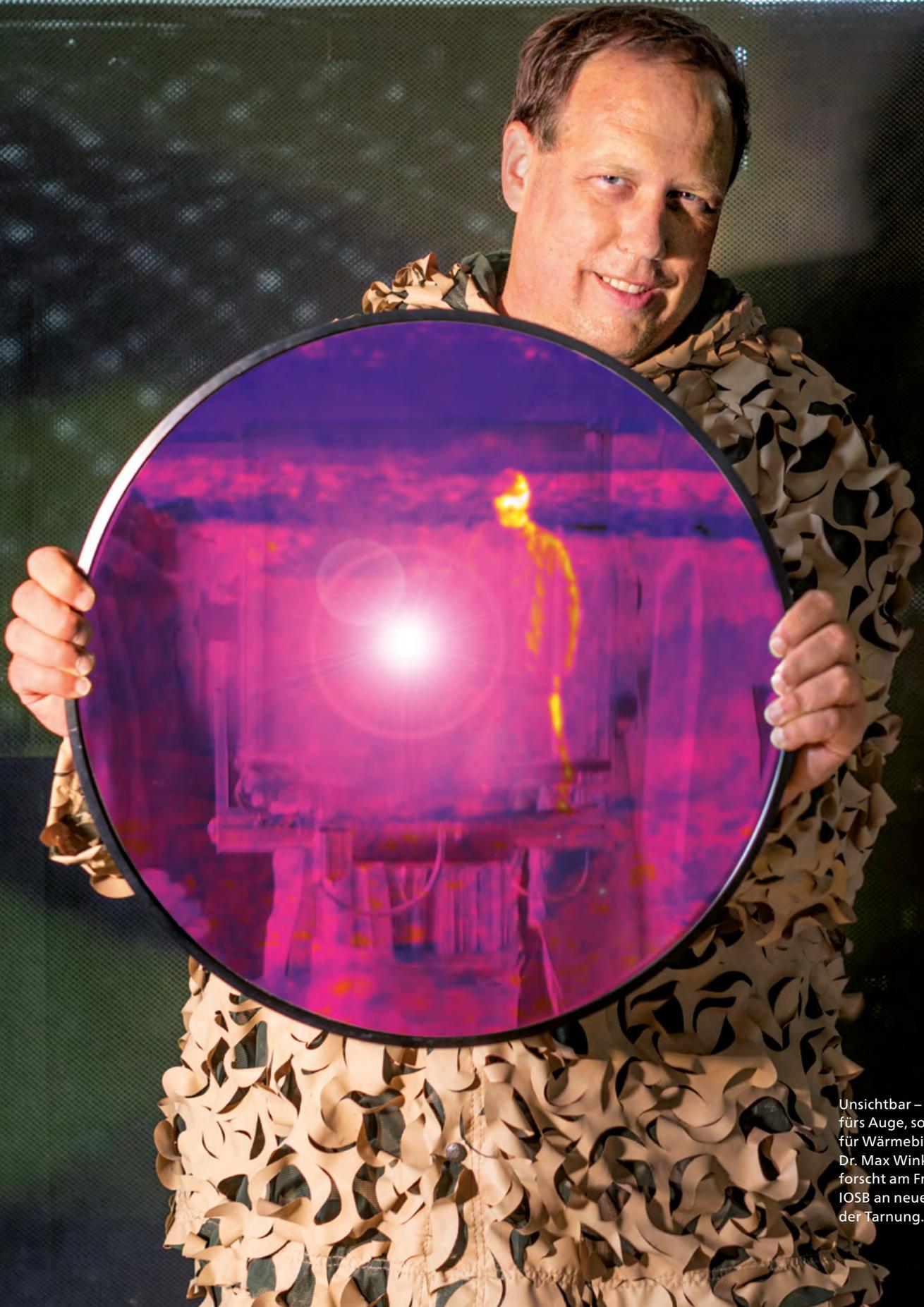
»Wir wollen mithelfen, die Streitkräfte auf das postfossile Zeitalter vorzubereiten.«

Prof. Karsten Pinkwart, Fraunhofer ICT

»Für die Verteidigungs-  
fähigkeit unseres  
Landes können die  
Forschungsinstitute  
im VVS substantielle  
Beiträge liefern.«

Caroline Schweitzer,  
Geschäftsführerin des Leistungsbereichs VVS





Unsichtbar – nicht nur fürs Auge, sondern auch für Wärmebildkameras? Dr. Max Winkelmann forscht am Fraunhofer IOSB an neuen Formen der Tarnung.

nieren, ist aktuell das Ziel von Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB. Sie arbeiten an Tarnkleidung, die sich selbstständig an die Umgebung anpasst. Integrierte Sensoren messen die Umgebungshelligkeit und die vorherrschenden Farbtöne und geben diese Information an intelligent gesteuerte LEDs weiter, die in die Textilien eingearbeitet sind. Diese geben dann Licht in der entsprechenden Helligkeit und Farbgebung ab und lassen den Soldaten nahezu mit seiner Umgebung verschmelzen. Der Mensch, der in der Uniform steckt, muss dazu nichts tun, keine Knöpfe drücken, keine Sensoren aktivieren. Das ist schon Realität. Die Zukunft: Steht der Soldat über ein Infosystem mit der Luftaufklärung in Kontakt, dann kann die Tarnkleidung ihr Farbspektrum so verändern, dass sie von den optischen Sensoren einer überfliegenden Drohne nicht erkannt werden kann. »Mit der Tarnung manipulieren wir die Wahrnehmung«, erklärt Dr. Max Winkelmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IOSB. Doch will das Team nicht bei der Optik stehen bleiben. Die Experten forschen an Textilien, die Wärmebildkameras täuschen können. »Wir erproben aktuell sehr viele neue Technologien«, verrät Winkelmann, »um unsere Soldaten besser zu schützen.«

»Wir erproben aktuell sehr viele neue Technologien, um unsere Soldaten besser zu schützen.«

Dr. Max Winkelmann,  
Fraunhofer IOSB

Um optimierten Schutz für die Menschen im Einsatz geht es auch am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI. Hier beschließen Elmar Straßburger und Dr. Steffen Bauer Glas mit Metallprojektilen, prüfen die Schädigung und ziehen daraus Rückschlüsse, wie man Scheiben in Fahrzeugen noch sicherer vor Beschuss machen kann. In der Regel wird hier Verbund-

sicherheitsglas eingesetzt. Die Dicke der einzelnen Schichten und die Kombination der verschiedenen Glassorten bestimmen letztendlich die Festigkeit. »Wir untersuchen nicht einfach, ob das Projektil die Scheibe durchbricht oder nicht. Oftmals hält die Scheibe einem ersten Schuss stand, auch dem zweiten. Beim dritten aber zersplittert sie komplett und kann die Menschen im Fahrzeug nicht mehr schützen.« Die Forscher beschäftigt deshalb

die Frage, wie stabil eine Scheibe noch ist, wenn sie durch ein Projektil bereits geschädigt wurde – und der erste Schaden beginnt schon direkt zum Zeitpunkt des Projektilaufschlags, also bevor das Projektil anfängt, in das Glas einzudringen. Denn durch den Aufschlag werden Stoßwellen im Glas erzeugt, die mit hoher Geschwindigkeit dem Projektil vorauslaufen und zur Entstehung von Rissen führen können. Solche Vorgänge erfassen die Fraunhofer EMI-Forschenden mit Hochgeschwindigkeitskameras – vom Aufprall bis zur Abbremsung des Projektils in nur 200 Mikrosekunden. Zudem nutzen die Experten Röntgen-Computertomografie und numerische Simulationsmodelle, »um die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit von Verbundglas

und Laminaten mit unterschiedlichen Materialkombinationen und Schichtdicken genauer prognostizieren zu können«, erklärt Bauer.

Auch am voraussichtlich größten und ambitioniertesten europäischen Verteidigungsprogramm der kommenden Jahrzehnte sind Fraunhofer-Forschende beteiligt. Das »Future Combat Air System«, kurz: FCAS, soll als Luftverteidigungssystem von 2040 an die bestehenden Plattformen wie den Eurofighter oder Rafale zunächst integrieren und zu einem späteren Zeitpunkt ablösen. An diesem Megaprojekt sind fast alle VVS- ▶

## Tarnung

Fraunhofer-Forschende arbeiten an innovativen Technologien zur Tarnung von Uniformen oder Fahrzeugen. Eine Kombination aus Sensoren und in den Stoff integrierten LEDs erzeugt auf der Uniform Farben und Muster, die sich jederzeit an Umgebung und Einsatzzweck anpassen.

## Missionsplanung

Der Digitale Lagetisch dient der Visualisierung und Bearbeitung komplexer Lagen. Beliebige viele Anwender arbeiten gemeinsam am Großdisplay oder räumlich verteilt – ggf. auch per VR in einem virtuellen Raum vereint – an derselben Lage. Zehn solcher Systeme sind bei der Führungsakademie der Bundeswehr bereits im Einsatz.

## Informationssystem für Verbünde

Coalition Shared Data (CSD) ermöglicht es, Aufklärungsdaten in multinationalen Verbänden bedarfsgerecht und einheitlich – gemäß eines NATO-Standards – zu speichern, zu verteilen und abzurufen, wobei die Datensouveränität beachtet wird. Die CSD-Technologie wird in verschiedenen Auslandseinsätzen der Bundeswehr genutzt.

*Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB\**

\*Die genannten Institute sind nicht immer die allein Ausführenden, sondern am jeweiligen Projekt beteiligt oder leiten es.

### Future Combat Air System (FCAS)

Im Luftverteidigungssystem (FCAS) haben sich Deutschland, Frankreich und Spanien zusammengeschlossen. Kampfflugzeuge werden gemeinsam mit unbemannten Komponenten (»remote carriers«) in ein vernetztes »System of Systems« integriert, um die Mission in Echtzeit mit allen nötigen Daten und Informationen zu versorgen. An FCAS arbeiten fast alle VVS-Institute, wobei das Fraunhofer FKIE die Rolle des Point of Contact für FCAS übernimmt.

### Erkennen von hybriden Bedrohungen

Hybride Bedrohungen kombinieren physische Bedrohungen mit solchen aus dem Cyber- und Informationsraum. Erst durch die gemeinsame Betrachtung von physischen Aktionen wie z. B. Truppenbewegungen, Funkverkehr oder Angriffen mit kinetischen Wirkmitteln einerseits und Attacken aus dem Cyber- und Informationsraum wie Desinformationskampagnen oder Hackerangriffen andererseits lässt sich die Bedrohung genau verstehen. Das Wissen darüber verbessert die Missionsplanung.

### Militärisches Technologie-Radar

Das militärische Technologie-Radar (MiTeRa) stellt für die Bundeswehr relevante Forschungsaktivitäten sowie deren Reifegrad in einem übersichtlichen Lagebild dar. Damit lässt sich die langfristige Planung optimieren.

*Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE*

Institute beteiligt, wobei das Fraunhofer FKIE die Rolle des Point of Contact übernimmt. FCAS wird deutlich mehr sein als ein Kampfflugzeug. Bemannte Jets neuester Generation sind eingebunden in ein »System-of-Systems«. Unbemannte Komponenten, sogenannte »Remote Carrier«, schützen als Begleiter die Pilotinnen und Piloten in Kampfmissionen. Zentral ist eine »Air Combat



»Kein Debattierclub, kein Feigenblatt.«

Prof. Wolfgang Koch, Chief Scientist am Fraunhofer FKIE

Cloud«, die den Akteuren alle relevanten Informationen in Echtzeit zur Verfügung stellt.

Die neue Lösung wirft neue Fragen auf. High-tech und Digitalisierung führen immer mehr dazu, dass sich militärische Operationen beschleunigen und gleichzeitig datenintensiver und damit komplexer werden. Wenn aber KI-gestützte Systeme selbst Entscheidungen treffen, überschreitet die Technik eine rote Linie. »Die Anforderungen

an Geschwindigkeit und Komplexität in den Gefechtssituationen der Zukunft sind so hoch, dass es ohne halbautomatische oder automatisch ablaufende technische Prozesse gar nicht mehr geht«, erläutert Prof. Wolfgang Koch, Chief Scientist am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE.

Dies erfordert eine neue Bewertung und Analyse des Themas Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in Waffensystemen. Der VVS hat hierzu das Positionspapier »Rise of Intelligent Systems in Military Weapon Systems« verfasst. Es legt den aktuellen Stand der Technik dar, untersucht Nutzen und Risiken und präsentiert ein Rahmenkonzept für erklärbare und kontrollierbare KI.

Doch damit nicht genug. Die Forschenden haben eine Arbeitsgruppe »FCAS-AG Technikverantwortung« gegründet, die ethische und rechtliche Leitlinien für Europas größtes Verteidigungsprojekt definieren und vorlegen will. An der Arbeitsgruppe beteiligen sich neben Wolfgang Koch Persönlichkeiten aus unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen, beispielsweise die Schriftstellerin Nora Bossong, Anja Dahmann von der Stiftung Wissenschaft und Politik, Ulrike Franke, Senior Policy Fellow beim European Council on Foreign Relations (ECFR) oder der Historiker Florian Keisinger. »Die AG soll kein harmloser Debattierclub sein und schon gar kein intellektuelles Feigenblatt für die Nutzung von KI in militärischen Operationen«, bestätigt Prof. Koch. »Vielmehr soll sie das Systemdesign, die Arbeitsweise und die Implementierung der Technologien in FCAS systematisch begleiten und mitgestalten.«

In FCAS haben sich Deutschland, Spanien und Frankreich zusammengetan. Im Laufe der Zeit sollen weitere europäische Nationen dazukommen. »FCAS ist ein gesamteuropäisches Projekt«, erklärt Koch, »das der gemeinsamen europäischen Sicherheits- und Verteidigungspolitik einen Schub geben könnte.«

### Präzision schafft Sicherheit

Auch präzises Wissen trägt zur Sicherheit von Einsatzkräften bei. Mit Aufklärung beschäftigen sich Forschende wie Dr. Stephan Palm am Fraunhofer FHR in Wachtberg, genauer mit dem »Synthetic Aperture Radar«. Dabei wird ein Bild aus vielen kleinen Aufnahmen einer beweglichen Antenne generiert, welches die zweidimensionale Reflektivität der Szene darstellt. Am FHR experimentiert

man nun mit dem sogenannten Kreis-SAR bei sehr hohen Trägerfrequenzen. Palm hat zu dem Thema auch promoviert.

## Öffentliche Sicherheit ist ein Forschungsschwerpunkt

Dabei zieht ein Flugzeug oder eine Aufklärungsdrohne eine kreisförmige Flugbahn um das zu beobachtende Gebiet und richtet den Radarbeam fortlaufend auf das Zentrum aus. So entstehen Aufnahmen aus mehreren Winkeln, die es er-

»Wir versuchen diese Ereignisse und ihre konkreten Auswirkungen im virtuellen Raum optisch erlebbar zu machen, bis hin zur 3D-VR-Darstellung.«

Daniel Hiller,  
Geschäftsführer Fraunhofer SIRIOS

möglichen, einzelne Objekte dreidimensional zu erfassen, also von mehreren Seiten zu betrachten. Zudem kann eine wesentlich höhere Auflösung als bei herkömmlichen Aufnahmen auf linearer Trajektorie erreicht werden. »Mit Kreis-SAR ist es auch möglich, SAR-Videos zu erzeugen und damit bewegte Objekte auf dem Boden wie etwa fahrende Autos zu visualisieren«, sagt Palm.

Ein Aufklärungsflieger, der in einer Höhe von bis zu 600 Meter über dem Zielgebiet fliegt, kann mit dem aktuellen Experimentalsystem Objekte unter fünf Zentimeter Größe identifizieren. Stellt man mehr Ausgangsleistung zur Verfügung, können auch deutlich größere Flughöhen erreicht werden. Damit wird eine hochauflösende Aufklärung auch bei schwieriger Witterung oder Nacht in Echtzeit realisierbar.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungstätigkeiten bei Fraunhofer ist die öffentliche Sicherheit. Von großen »Herausforderungen für die Gesellschaft auch durch Gefahren wie Terror, Cyberangriffe und Klimawandel« spricht Daniel Hiller, Geschäftsführer von Fraunhofer SIRIOS. Dieser Zusammenschluss von vier Fraunhofer-Instituten nahm im Januar 2022 in Berlin den Betrieb auf. Die Fraunhofer-Expertinnen und -Experten setzen auf das Prinzip der virtuell erlebaren Simulation: SIRIOS simuliert detailliert den Verlauf einer Gefahrenlage, z. B. einem Anschlag oder einer Explosion, und die wahrscheinliche Reaktion der betroffenen Menschen. Dabei beschränkt sich die Simulation nicht auf abstrakte Datenreihen und Grafiken. »Wir versuchen diese Ereignisse und ihre konkreten Auswirkungen im virtuellen Raum optisch erlebbar zu machen, bis hin zur 3D-VR-Darstellung.«

## Wie wird die Bevölkerung gewarnt?

Frühzeitig zu warnen, ist das Anliegen von Olaf Korte vom Fraunhofer IIS. Denn das ist im Gefahrenfall wie etwa bei Naturkatastrophen entscheidend. Viele der klassischen Sirenenwarnsysteme wurden in den vergangenen Jahren abgebaut oder nicht mehr gewartet. Zwar gibt es Warn-Apps für das Smartphone, doch sind die Geräte von funktionierenden Mobilfunknetzen abhängig. Deutlich robuster sind Rundfunknetze. Auf die setzt Olaf Korte mit seinen Kolleginnen und Kollegen. Das Konzept EWF (Emergency Warning Functionality) sieht vor, dass von zentraler Stelle, etwa dem Innenministerium, ein Warnimpuls als Umschalt- bzw. Aufwecksignal ausgelöst wird, um eine Audiobotschaft inklusive kurzer Laufschrift für das Display des Endgeräts zu senden. Diese kann von DAB+-Radios empfangen werden. Höherwertige Empfangsgeräte bieten außerdem mehrsprachige und detailliertere Texte für Hörbehinderte und Fremdsprachler. Die Warnhinweise und Texte sind ebenfalls für öffentliche ▶

## Warn- und Alarmsysteme

Hochperformante Informationslogistik und Architekturen für vernetzte Bevölkerungswarn- und Alarmierungssysteme.

*Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS)*

## Drohnenabwehr mit hochenergetischen Mikrowellen

Drohnen, insbesondere solche geringer Größe, sind schwer zu entdecken und mit klassischen Waffen nur schwer zu bekämpfen. Durch gezielte Störung der Elektronik für die Motorsteuerung, die Fluglage und weiterer Regelungselemente durch hochenergetische Mikrowellen wird ein Rundumschutz gegen einzelne Drohnen, aber auch gegen Schwärme für zu sichernde Objekte realisiert.

## Detektion elektromagnetischer Angriffe

Zur Kategorie der modernen »Strahlenwaffen« gehören auch solche, die mit hochenergetischen Mikrowellen moderne Elektronik stören oder sogar zerstören. Wesentlich ist dabei zunächst das Erkennen eines derartigen Angriffs. Ein hochkompakter Detektor zum Einbau in mobile und stationäre Waffensysteme erkennt und analysiert Art und Richtung eines Angriffs mit Mikrowellen.

*Fraunhofer Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT*



Kleines Radio für größere Sicherheit: Rundfunknetze sind im Krisenfall stabiler als Mobilfunknetze. Deshalb setzt Olaf Korte vom Fraunhofer IIS nicht auf App, sondern auf EWF (Emergency Warning Functionality).

Anzeigetafeln nutzbar. »Ein Vorteil der Technik ist, dass man die Warnnachrichten zum Beispiel vor einem aufziehenden Sturm sehr gezielt regional verbreiten kann«, sagt Korte. Zwar liegt die Verbreitung von DAB+ in Deutschland aktuell nur bei 25 Prozent, doch die Tendenz ist steigend.

»Ein Vorteil der Technik ist, dass man die Warnnachrichten sehr gezielt regional verbreiten kann.«

Olaf Korte,  
Fraunhofer IIS

## Ein Radar für die Investitionen

Weltweit läuft die Forschung und Technologieentwicklung in den Bereichen Zivilschutz und Verteidigung auf Hochtouren, um Menschen vor den Folgen des Klimawandels, aber auch vor militärischen Angriffen besser zu schützen. Einen stets aktuellen Überblick über die zahlreichen Forschungsaktivitäten liefert das Militärische Technologie-Radar (MiTeRa), das am Fraunhofer FKIE entwickelt wurde.

Dr. Hanna Geppert und Dr. Carsten Winkelholz haben das Software-Tool gemeinsam mit ihrem Team und dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) geschaffen, um Reifegrad, Intensität und Planungsstand von Forschungsaktivitäten in Bezug auf wichtige Zukunftstechnologien jederzeit im Blick zu haben. »Wenn beispielsweise bestimmte Kommunikationsmittel veralten, ist es wichtig zu wissen, ab wann neue

Technologien marktreif sein werden, um Lücken zu vermeiden«, erklärt Geppert. Möglich wird dies durch eine ergonomische Sicht und die Frage, wer zu welchem Zeitpunkt welche Information für eine fundierte Entscheidung benötigt. Das Ergebnis ist eine auf Visual Analytics basierende interaktive und intuitiv verständliche Darstellung. Aktuell wird das Technologie-Radar vom BMVg im Forschungsbereich Cyber und IT genutzt, weitere Themenbereiche sollen bei Bedarf folgen.

## Die Anforderungen wachsen, der politische Wille ist dokumentiert

Bundeswehr und Verteidigungsministerium wollen auch wissen, was die technologischen Trends der Zukunft sind und wie die zukünftige Ausrüstung der Streitkräfte aussehen soll. Was in 10 oder 20 Jahren in modernen Waffensystemen zum Einsatz kommen wird, befindet sich heute als Forschungsprojekt mit niedrigem Technology Readiness Level in den Laboren rund um die Welt – das meiste davon inzwischen zivil getrieben. Den Überblick hat hier das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT. »Wir stellen seit mehr als 40 Jahren eine 360°-Rundumsicht auf diese komplexe Technologielandschaft her und beraten das BMVg bei der Ausgestaltung des Ressortforschungsprogramms«, erklärt Prof. Michael Lauster, Leiter des Fraunhofer INT und stellv. Sprecher des Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (VVS). Zudem gibt die vierteljährlich vom Fraunhofer INT herausgegebene Publikation »Wehrtechnische Vorausschau« den Planern und Entscheidungsträgern die wesentlichen Informationen an die Hand, um zukunftssichere Ausrüstungsentscheidungen treffen zu können.

Die Anforderungen an die Verteidigungsfähigkeit Deutschlands wachsen, der politische Wille ist dokumentiert – und die Forschung steht bereit. »Wir haben dem Verteidigungsministerium bereits gezielt Leistungsangebote unterbreitet«, erklärt VVS-Geschäftsführerin Schweitzer. »Wir sind in der Lage, sehr schnell auf konkrete Anfragen der Bundeswehr zu reagieren und neue Technologien ins Feld zu bringen«, versichert auch Prof. Jürgen Beyerer. Und in der aktuellen Lage kündigt der VVS-Vorsitzende an: »Diese Fähigkeit werden wir in Zukunft noch besser demonstrieren.« ■

## Notfallwarnung

Das Warnsystem EWF (»Emergency Warning Functionality«) nutzt das Digitalradio DAB+, um bei Katastrophen, Anschlägen oder Störfällen aller Art eine Warnung an die Bevölkerung auszugeben. Das robuste System dient als Ergänzung zu internet-basierten Techniken wie etwa Warn-Apps für Smartphones.

*Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS*

## Einsatzführungs- und Kommunikationssystem SE/EKUS

Das Einsatzführungs- und Kommunikationssystem SE/EKUS unterstützt Spezialeinheiten der Polizei bei der Einsatzvorbereitung, der Einsatzführung und -kommunikation. Das inzwischen preisgekrönte und als Bundesstandard etablierte System stellt modernste Web- und Servertechnologien in Verbindung mit mobilen Anwendungen bereit. So werden Einsatzkräfte vor Ort über mobile Applikationen eingebunden.

*Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI*

## Raketen-Erkennung

Bi-spektrale Infrarot-Detektoren dienen zur Erkennung und Identifikation von anfliegenden Raketen. Das System wird beispielsweise im Airbus A400M verwendet.

*Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF*

### Radar-Aufklärung

Durch eine kreisförmige Flugbahn und sehr hohe Frequenz erzielt die Radaraufklärung Kreis-SAR im Flugzeug eine wesentlich höhere, dreidimensionale Auflösung von Objekten auf dem Boden. Auch bewegte Objekte können durch Video-SAR visualisiert werden.

### Minenräumung

Bodendurchdringendes Radar mithilfe von polarimetrischen Antennen, beispielsweise an der Vorderseite eines Minenräumfahrzeugs. Detektiert auch Minen aus Kunststoffen oder Mischstoffen.

*Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR*

### Zivilschutz

Virtuell erlebbare Simulation hilft, Naturkatastrophen, Anschläge oder Störfälle und ihre Auswirkungen auf soziotechnische Systeme zu analysieren und daraus Rückschlüsse zu ziehen für optimierte Rettungseinsätze und die Wiederherstellung der kritischen Infrastrukturen.

*Fraunhofer-Zentrum SIRIOS*

**SIRIOS –  
Katastrophen-Simulation  
in der virtuellen Welt  
Hier geht's zum Podcast:**



# 7 Thesen zur Zukunft der Wehrtechnik

Von Prof. Michael Lauster, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT und stellvertretender Sprecher des Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS.

- 1** In allen Domänen, ob Land, Luft oder See, sind spezifisch angepasste Materialien entscheidend in bewaffneten Konflikten. Wie vor Jahrhunderten die Ritterrüstungen so haben auch moderne Kampfpanzer die Tendenz, immer schwerer zu werden – und damit auch immer unbeweglicher. Widerstandsfähige, leichte Materialien und neue Schutzkonzepte ermöglichen den Bau kleinerer, leichterer Fahrzeuge, die ihre Besatzung genauso gut schützen. Dabei sind sie beweglicher und verbrauchen weniger Energie für ihren Antrieb. Insbesondere unter dem Aspekt der Verknappung von fossilen Treibstoffen ist Gewicht ein wesentliches Kriterium.
- 2** Neben neuen Antriebs- und Regelungskonzepten sind leichte, aber gleichzeitig hochtemperaturbeständige Werkstoffe beim Vorstoß in den Hyperschallbereich unverzichtbar. Hyperschallflugkörper bringen eine neue Qualität: Sie sind schwer zu orten, manövrierfähig auch bei höchsten Geschwindigkeiten oberhalb Mach 5, also jenseits der 6000 Stundenkilometer, und verfügen über Reichweiten von mehreren tausend Kilometern. Sie stellen eine derzeit kaum abwehrbare Bedrohung für hochwertige Ziele dar. Um diese zu sichern, kommt deshalb der Entwicklung neuer Tarnmaterialien immer mehr Bedeutung zu, insbesondere auch zum Schutz von Schiffen und U-Booten.
- 3** Quantentechnologie (siehe S.24 »Auf die Qubits ... fertig ... los!« und S.47 »Wenn Quantencomputer angreifen«) verspricht disruptive Entwicklungen nicht nur im zivilen Bereich. Quantencomputer könnten zukünftig beim Materialdesign eine wichtige Rolle spielen. Ihre Entwicklung ist nur ein Aspekt bei der praktischen Anwendung der Quantentheorie, die das Reich des Subatomaren auch für den militärischen Einsatz erschließen soll. Quantenkommunikation, Quantensensoren und nicht zuletzt auch Waffen, die auf Quanteneffekten beruhen, wie etwa Laser mit Leistungen oberhalb 100 kW, sind derzeit bereits in der Entwicklung.
- 4** Maschinelles Lernen und Mustererkennung bieten inzwischen wertvolle Unterstützung in der Auswertung von Sensordaten oder in der Erkennung von gegnerischem Verhalten. Wichtig in der militärischen Anwendung sind hier vor allem nachvollziehbare Entscheidungsvorgänge (»Explainable AI«) sowie die Störsicherheit eigener, aber auch die Verwirrbarkeit gegnerischer Künstlicher Intelligenz (»Adversarial AI«). Das digitale Abbild eines Gefechtsfelds wird auf allen Hierarchieebenen verfügbar sein und situationsgerecht die benötigten Informationen übermitteln.



Nach seiner Offiziersausbildung studierte Michael Lauster Luft- und Raumfahrttechnik an der Hochschule der Bundeswehr. Seit 2020 ist Prof. Lauster stellvertretender Sprecher des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheitsforschung.

**5** Raumfahrt wird eine immer stärkere Rolle in Fragen der Sicherheit einnehmen: Nicht nur Navigation und Kommunikation werden über Satelliten abgewickelt werden. Aufklärung, auch aus dem niedrigen Erdorbit und mit je nach Bedarf gestarteten und bedarfsgerecht konfigurierten Konstellationen, wird zukünftig möglich sein. Unter dem Schlagwort »Responsive Space« werden reaktionsschnell innerhalb kurzer Zeit ausgefallene Kapazitäten im Orbit mit eigenen Startmöglichkeiten ersetzt werden.

**6** Technologie war zu allen Zeiten ein entscheidender Faktor in bewaffneten Konflikten. Wer die effektiveren Waffen bauen konnte, hatte einen wesentlichen Vorteil auf seiner Seite. Schwerter und Schilde aus Bronze waren härter und haltbarer als ihre Vorläufer aus Kupfer oder Holz und Tierhäuten. Die Entwicklung durchschlagskräftiger Armbrüste und erster Vorderladergewehre setzte der Ära der schwerk gepanzerten Ritter ein Ende; Flugzeuge haben die Domäne »Luft« als weiteres Gefechtsfeld erschlossen, ihre Kombination mit Schiffen, auf denen sie starten und landen können, ermöglichten globale Machtprojektion. Das Spektrum der

Kernwaffen, zusammen mit Trägerraketen und anderen, weitreichenden Transportmitteln, hat zum Aufstieg der Supermächte geführt. Auch heute streben Armeen nach der hochwertigsten Ausrüstung. Dennoch gilt: Die modernste Technologie ist wertlos ohne die Menschen, die wissen, wie sie zu nutzen ist. Entscheidend ist der Unterschied zwischen Kampfwert, also der Art und Anzahl der Waffen, und dem Gefechtswert, also der Entschlossenheit und dem Geschick, sie einzusetzen. Erst die Kombination aus effektiven Technologien und hoch motivierten, gut ausgebildeten Soldaten bringt den Erfolg in der Gefechtsituation.

**7** Trotz aller moderner Technologie behält der 2500 Jahre alte Ratschlag Gültigkeit, von Sun Tzu in »Die Kunst des Krieges« formuliert, dem frühesten überlieferten Werk über Strategie: »Zu kämpfen und zu erobern ist in allen Deinen Kämpfen nicht das höchste Können; das höchste Können besteht darin, den Widerstand des Feindes ohne Kampf zu brechen.« ■

»Das höchste Können besteht darin, den Widerstand des Feindes ohne Kampf zu brechen.«

Sun Tzu, »Die Kunst des Krieges«

# Corona ohne Dunkelziffer

Mobile Labors zur Abwasseranalyse können helfen, das aktuelle Pandemiegeschehen in Deutschland zu überwachen – und Hotspots frühzeitig zu identifizieren.

Von Marina Babl



Im weltweit ersten mobilen Corona-Testlabor sind die Bereiche trotz der Platzknappheit getrennt, um das Risiko von Querkontamination zu verringern. Im größeren Abteil findet die Analyse statt.

**D** ikksi Co Vi« – so heißt das Labor auf Rädern, das die Erfassung des Pandemiegeschehens in Deutschland in Zukunft maßgeblich verbessern soll. Entwickelt wurde es am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. Offiziell steht die Abkürzung für »Diagnostik von kontaminationskritischen Proben zur sicheren Identifikation von Coronaviren in Abwässern«. Die Namensverwandtschaft mit dem Dixi-Klo ist kein Zufall. Denn der Anhänger, der zum weltweit ersten mobilen Corona-Abwassertestlabor ausgebaut wurde, dient standardmäßig als Basis für

mobile Toilettenanhänger. Und getestet werden die Proben in ihm auf Coronaviren-Fragmente, die ihren Weg über die Toiletten und Waschbecken ins Abwasser gefunden haben.

»Mit der Abwasseranalytik und speziell auch mit unserem mobilen Ansatz können wir für ein evidenzbasiertes Vorgehen in der Corona-Politik eine objektive und belastbare Datengrundlage liefern«, ist Guido Kreck, Experte für Reinheitstechnik am Fraunhofer IPA, überzeugt. Auch Bundesgesundheitsminister Karl Lauterbach hält das Abwasser-Monitoring für ein hervorragendes Instrument zur Pandemie-Kontrolle, wie er zuletzt Anfang Juli im

ARD-Sonntagstalk »Anne Will« beteuerte. Und tatsächlich: Schon mit einer Handvoll mobiler Corona-Trailer pro Bundesland könnte innerhalb weniger Tage flächendeckend für Deutschland mit vertretbarem finanziellen Aufwand eine Echtzeitbewertung der Infektionslage erfolgen.

## Coronaviren deutlich früher nachweisen

Sibylle Thude, Biologin und Zytotoxizitätsexpertin am Fraunhofer IPA, erklärt: »Die Coronaviren können über das Abwasser schon deutlich früher nachgewiesen werden als über individuelle Nasen-Rachen-

Abstriche.« Corona-Infizierte sondern über ihren Stuhl und beim Zähneputzen Viren ab – und das im Durchschnitt schon mehr als eine Woche vor Symptombeginn. Eine Abwasseranalyse kann somit das aktuelle Infektionsgeschehen abbilden – im Gegensatz zur zeitverzögerten Individualtestinzidenz, die bislang als Kennwert verwendet wird. »Gleichzeitig haben wir über die Abwasserprobe einen aussagekräftigen Durchschnittswert, der alle Personen im Einzugsgebiet der jeweiligen Kläranlage umfasst – und das ohne Dunkelziffer«, betont Dr. Udo Gommel, Leiter der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion sowie



Sicherheit für die Testenden muss auch im mobilen Labor gewährleistet sein.

des Bereichs Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnologie am Fraunhofer IPA. »Individuelle Testmüdigkeit ist hier kein Problem mehr, gleichzeitig bleibt der Datenschutz gewährleistet.« Die Testung liefert einen relativen Wert über die Viruslast in der Wasserprobe, die sich über verschiedene Orte oder Messzeitpunkte hinweg vergleichen lässt, um die Virusausbreitung zu erfassen. Dabei sind die Tests so sensitiv, dass sie in der Regel schon dann anschlagen, wenn lediglich 10 von 10 000 Menschen infiziert sind.

Für die Analyse von Abwasser auf Coronavirusfragmente existieren bereits etablierte Verfahren: Die Proben aus den Klär-

anlagen werden zunächst erhitzt, um potenzielle Krankheitserreger abzutöten, dann aufgereinigt und konzentriert. Über eine magnetische Technologie werden alle vorhandenen RNA- und DNA-Fragmente gesammelt. Spezielle Sonden können spezifisch die Abschnitte mit SARS-CoV-2 erkennen, markieren und vervielfältigen. Das Lichtsignal, das hierbei entsteht, kann schließlich über eine quantitative Echtzeit-PCR-Messung detektiert und quantifiziert werden.

Stationäres Corona-Abwassermonitoring wird bereits in zahlreichen Ländern der Welt erfolgreich angewendet, im großen Stil beispielsweise in den Niederlanden. Die Politik in Deutschland ist dagegen bislang zögerlich – bis auf vereinzelte kleine Pilotprojekte. Dabei hatte die EU-Kommission die Mitgliedstaaten im vergangenen Frühjahr aufgefordert, Corona-Abwasserüberwachungen systematischer zu nutzen und in nationale Teststrategien zur Pandemiebekämpfung mit einzubeziehen.

Gleichzeitig stoßen die etablierten stationären Abwassertestungen in Deutschland an ihre Grenzen. So werden die Proben meist nicht am selben Ort analysiert, an dem sie entnommen wurden, sondern werden an externe Testlabors verschickt, was zu Zeitverzögerungen führt. »Hinzu kommt, dass es bei der Analyse des Abwassers bisher kein Standardprotokoll gibt«, erklärt Thude. Bei den Nasen-Rachen-Abstrichen gab es schon früh weit verbreitete Analyserichtlinien, sodass die Daten auch über verschiedene Labors hinweg schnell vergleichbar waren. Beim Abwassermonitoring bleibt es im Prinzip jeder Kommune selbst überlassen, wie sie vorgeht.

### Ergebnis schon nach Stunden

»Hier kommt unser mobiles Testlabor ins Spiel«, betont Kreck. »Es erlaubt uns Analysen direkt am Ort der Probenentnahme, und nach wenigen Stunden liegt bereits das Ergebnis vor. Dadurch, dass alle Analysen vom selben Labor durchgeführt werden und wir standardisiert vorgehen, sind die Ergebnisse gut miteinander vergleich-

bar.« Die erzielten Daten werden zudem an einen Algorithmus weitergegeben, der mithilfe von Künstlicher Intelligenz Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit prognostizieren kann. »So erhalten wir anhand der Ergebnisse eine empfohlene Strategie für Folgetestungen und brauchen nicht flächendeckend zu testen«, erklärt Gommel.

### Deutschlandweite Teststrategie

Das Projekt startete im Sommer 2020, die Straßenzulassung für das mobile Labor gab es im vergangenen Winter. Die besondere Herausforderung: Alles, was in einem stationären Labor standardmäßig vorhanden ist, musste auf kleinstem Raum realisiert werden.

Um die Gefahr für Querkontaminationen so gering wie möglich zu halten, wurden zwei Abteile eingerichtet – ein kleineres für die Wasseraufbereitung und ein größeres für die eigentliche Analyse. Eine Probenschleuse verbindet beide Bereiche. Und auch sonst haben die Forschenden darauf geachtet, alle Arbeitsschritte möglichst räumlich voneinander zu trennen. Die Geräte wurden so ausgewählt, dass möglichst wenig verschiedene gebraucht werden und trotzdem eine gewisse Redundanz vorherrscht – für den Fall, dass ein Gerät ausfällt. Der Anhänger verfügt außerdem über eine Heizung, eine Klimaanlage und einen Feuermelder, über Möglichkeiten zur Reagenzienkühlung und zur sicheren Müllentsorgung, über Schutzkleidung und alle nötigen Hygienevorkehrungen.

»Insgesamt haben wir also alles ganzheitlich durchdacht und das Labor verfügt über ausreichend Platz und Equipment, um zahlreiche Testungen hintereinander durchzuführen. Nur zum Übernachten muss man sich dann noch ein anderes Plätzchen suchen«, lacht Thude.

Erste Testfahrten im Großraum Stuttgart hat »Dikxi Co Vi« bereits erfolgreich hinter sich gebracht. Gommel ist überzeugt: »Schon mit einer überschaubaren Anzahl solcher Einheiten könnte man eine sinnvolle deutschlandweite Teststrategie umsetzen.« ■

# Auf die Qubits ... fertig ... los!

Die Versprechen von Quantencomputern sind groß. Doch bis sie praktische Probleme wirklich umfänglich lösen können, gibt es noch einige Hürden zu nehmen. Eine zentrale Frage ist: Welche Qubit-Technologien werden langfristig das Rennen um Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit gewinnen?

Von Mandy Bartel

**Q**ubits sind Bits mit Superkräften, die kleinsten Recheneinheiten eines Quantencomputers. Der gilt als Hoffnungsträger für sehr viele Zukunftsbereiche. Doch noch ist offen, welche Ansätze sich für welches Problem durchsetzen werden. Denn theoretisch kann jedes Quantenteilchen – ob Atom, Ion, Elektron oder Photon – als Qubit genutzt werden. Es muss nur zwei verschiedene Zustände annehmen können, etwa die zwei niedrigsten Energieniveaus des Teilchens  $|0\rangle$  und  $|1\rangle$ . Deshalb spricht man auch von einem Zweizustands-System. Der Clou allerdings steckt zum einen in der Superposition, also der beliebigen Überlagerung dieser Zustände, und zum anderen in der Verschränkung der Qubits, sodass sich ihre Zustände nicht mehr unabhängig voneinander darstellen lassen. Beide Effekte zusammen ermöglichen die besondere Arbeitsweise, die Quantencomputer von klassischen Systemen unterscheidet: Sie arbeiten probabilistisch statt deterministisch, als Ergebnis erhält man also immer Wahrscheinlichkeiten.

Ziel ist es, mit höchster Wahrscheinlichkeit das richtige Ergebnis zu erhalten. Doch die Hürden sind hoch: Existierende Systeme sind noch fehleranfällig, denn externe Einflüsse stören die fragilen Quantenzustände. Die Kohärenzzeiten, in der sie sich in Superposition und Verschränkung befinden, sind noch zu kurz und die Anzahl der Qubits zu niedrig. Forschende im Fraunhofer Kompetenznetzwerk Quantencomputing erproben deshalb gleich mehrere Technologien. Die Disziplinen, in denen diese gegeneinander antreten: Anzahl (Skalierung), Qualität (Kohärenz), Ausführungsgeschwindigkeit (Speed) und Kopp- lung der Qubit-Gatter.

## Die Sprinter: Supraleitende Qubits

In der Pole-Position im Quanten-Rennen stehen derzeit supraleitende Systeme, auf die große Hersteller wie IBM oder Google setzen. Sie haben aktuell den höchsten technologischen Reifegrad. Supraleitende Qubits sind künstliche Atome, die mithilfe von Halbleitertechnologie hergestellt werden. Sie ermöglichen einen schnellen Wechsel zwischen den Quantenzuständen und sind gut skalierbar, haben allerdings eine sehr kurze Kohärenzzeit und noch hohe Fehlerquoten in den Berechnungen. »Mit der Anzahl an gleichzeitig angesteuerten Qubits steigt die Fehleranfälligkeit eines jeden Algorithmus. Eine zentrale Forschungsaufgabe ist deshalb, diese Fehler sinnvoll abzuschwächen beziehungsweise zu korrigieren. Das kann durch sogenannte Error-Mitigation-Protokolle oder auch verknüpfte Hilfs-Qubits gelingen, die Fehler identifizieren«, erklärt Dr. Christian Tutschku vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Ein weiterer Nachteil: Supraleitende Qubits müssen aufwendig bis fast zum absoluten Nullpunkt (-273,15 Grad Celsius) gekühlt werden. Fraunhofer-Institute arbeiten gleich in mehreren Projekten daran mit, Quantencomputing-Demonstratoren auf Basis supraleitender Schaltkreise zu entwickeln und in bestehende Computingsysteme zu integrieren, aber auch den anspruchsvollen Herstellungsprozess der supraleitenden Qubits zu optimieren. Zudem erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am supraleiter-basierten IBM Quantum System One in Ehningen Methoden der Fehlerkorrektur und neue anwendungsnahe Algorithmen. ▶

Supraleitende Qubits müssen auf  
**-273**  
Grad Celsius gekühlt werden.

Während ein klassischer Rechner mit Bits rechnet, nutzt ein Quantencomputer Qubits. Diese können nicht nur die Werte 0 oder 1 annehmen, sondern durch die Überlagerung von Quantenzuständen auch jede beliebige Kombination aus beidem.



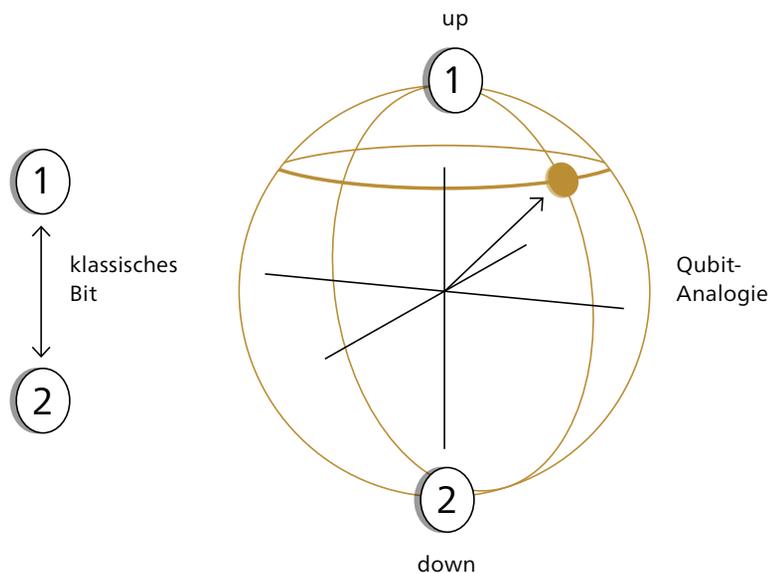
**Die Robusten:**  
**Qubits auf Basis gefangener Ionen**

Ein Herausforderer im Wettkampf der Qubits sind Ionen. Mithilfe elektrischer Felder werden sie in Ionenfallen gefangen, um sie dann mit Laserstrahlen kontrollieren und nutzen zu können sowie Quanteninformationen zu verarbeiten. Die Ionen sind zwar langsamer als ihre supraleitenden Rivalen, ermöglichen aber ein höheres Quantenvolumen. Dieses Maß dient der Vergleichbarkeit und berücksichtigt neben der Anzahl der Qubits auch ihre Konnektivität, Fehleranfälligkeit und Stabilität. Denn: Wenige fehlertolerante Recheneinheiten können je nach Anwendung besser sein als viele fehlerempfindliche. Vor allem die gute Konnektivität untereinander und die lange Kohärenzzeit sprechen für die Ionenfallen-Qubits. In den Projekten IQuAn und ATIQ entwickeln Fraunhofer-Forschende Quantencomputer-Demonstratoren auf Basis von gefangenen atomaren Ionen für Anwendungen in der Quantenchemie, Optimierungsprobleme mit parallelisierbaren Gattern und Kreditrisikozuweisungen. »Unser aktueller Forschungsschwerpunkt ist die Skalierbarkeit und bessere Performance. Das wollen wir durch neue Fallen-Designs mit 3D-Strukturen erreichen. Diese zum Teil wenige Mikrometer großen Strukturen erlauben uns zum einen eine einfachere Funktionalisierung der Ionenfallen und zum anderen eine bessere Abschirmung von parasitären elektrischen Feldern. Die Fertigung der gesamten Falle erfolgt dabei mithilfe unseres Selektiven Laser-induzierten Ätzverfahrens (SLE)«, erklärt Sebastian Simeth vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, einer der Projektpartner.

Die Ionen sind zwar langsamer als ihre supraleitenden Rivalen, ermöglichen aber ein höheres Quantenvolumen.

**Die Hochkaräter:**  
**Spinbasierte Qubits in Diamant**

Eine weitere Technologie im Quantenwettbewerb sind spinbasierte Qubits. Dafür nutzen Experten optisch adressierbare Farbzentren in einem Diamantsubstrat. Farbzentren sind Stickstoff-Fehlstellen im Diamantgitter, gebildet aus einem Stickstoff-Fremdatom und einer Fehlstelle. Sie verfügen über einen Elektronenspin, der – gekoppelt an Kernspins von umgebenden Atomen – als Auslese-Qubit fungiert. Einzelne Qubitregister photonisch über Lichtteilchen miteinander zu verbinden, ist das Ziel im Projekt SPINNING. »Am Ende des Projekts wollen wir bis zu 20 Qubits in einem spin-photonen-basierten Quantenprozessor realisieren. Die photonische Kopplung ermöglicht einen kompakten Aufbau, aber langfristig auch die Skalierung der Prozessoren«, sagt Daniel Hähnel vom Fraunhofer-Institut für Festkörperphysik IAF, das die Projektkoordination innehat. Im Vergleich zu supraleitenden Quantencomputern können Qubits in Diamant ihre Superposition auch bei Raumtemperatur für mehrere Millisekunden aufrechterhalten. Forschungsbedarf besteht noch in der Verbesserung der Fehlertoleranz sowie in der Reproduzierbarkeit des Verfahrens.



Man kann sich Qubits als rotierende Teilchen vorstellen, deren Rotationsachse sich erst auf eine Position festlegt, wenn man misst. Gerechnet wird mit Korrelationen von Qubit-Zuständen.



Im Projekt SPINNING arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einem kompakten, skalierbaren Quantenprozessor, der sich an herkömmliche Computer anbinden lässt.

### Die Lichtgestalten: Photonische Qubits

Eine leuchtende Alternative basiert auf sogenanntem gequetschtem Licht in speziellen integrierten Lichtkanälen auf Silizium-Wafern. Die Lichtteilchen lassen sich in diesen »photonic integrated circuits« als Qubits nutzen und auch bei Raumtemperatur nahezu verlustfrei kontrollieren und steuern. Ein weiterer Vorteil des photonischen Ansatzes ist die Skalierung, denn die für die Rechenoperationen nötigen Funktionen können mit gängigen Halbleiter-Fertigungsverfahren auf einem einzigen Chip hergestellt werden. Im Projekt PhoQuant entwickeln 14 Partner eine neue photonische Rechnerarchitektur für industrierelevante Anwendungen, zum Beispiel um Ablaufpläne an Flughäfen bei unvorhergesehenen Verspätungen in Echtzeit zu optimieren. Die Forschenden entwickeln Algorithmen nicht nur für spezielle Problemstellungen, sondern auch für universelles Quantencomputing. In PhoQuant erarbeitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena Bausteine wie integriert optische Quantenlichtquellen und verlustarme optische und faseroptische Interferometer zur Überlagerung der Lichtwellen. Das Dresdner Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS steuert sogenannte FPGA- und ASIC-Architekturen bei, also integrierte Schaltkreise mit aktiven Schnittstellen, um die Funktionalitäten des photonischen Chips präzise anzusteuern und auszuwerten. Mit dem Projekt erfolgt ein wichtiger Schritt in Richtung skalierbarer, fehlertoleranter photonischer Qubit-Technologien.

Foto: AdobeStock

### Die Unempfindlichen: Atom-Qubits

Als wenig störanfällig gelten Atom-Qubits. In der Initiative Munich Quantum Valley arbeitet Fraunhofer im Projekt MUNIQC-Atoms an einem Quantenprozessor auf Basis von Neutralatomen mit. Einzelne Strontium-Atome, die als Recheneinheit fungieren, werden mit Laserpinzetten in speziellen optischen Fallen gefangen und gekühlt. Mit einzelnen Laserstrahlen lassen sie sich kohärent anregen und bewegen. Da nur gezielt Atome gekühlt werden müssen, entfällt die aufwendige Tiefkühlung des gesamten Qubit-Systems. Wegen ihrer elektrischen Neutralität sind Atome zudem weniger empfindlich für Störungen, die Kohärenzzeiten sind damit höher. Im Projekt wollen die Partner die Grundfunktionalität des Quantenprozessors, seinen externen Zugang und seine Skalierbarkeit demonstrieren. Das Fraunhofer-Institut für integrierte Schaltungen IIS entwickelt die Kontroll- und Regelelektronik für die Laseransteuerung. Das Ziel der Forschenden ist ein Quantenprozessor mit bis zu 400 Qubits bis 2026.

In den nächsten Jahren wird sich herauskristallisieren, wer im Quanten-Marathon mithalten kann. Ganz allein wird es kaum eine der Technologien schaffen. Das größte Potenzial liegt ohnehin in der Teamarbeit von Quanten- und klassischen High-Performance-Computern (HPC). Dabei können die Quantenprozessoren genau die Rechenoperationen enorm beschleunigen, in denen sie gut sind, während die anderen Prozessoren die restlichen Aufgaben verarbeiten. Mit Arbeitsteilung kam man eben schon immer schneller ans Ziel. ■

Als wenig störanfällig gelten Atom-Qubits. Da nur gezielt Atome gekühlt werden müssen, entfällt die aufwendige Tiefkühlung des gesamten Qubit-Systems.

# Besser gewappnet dank Künstlicher Intelligenz

Die Zeitenwende 2022, ausgerufen von Bundeskanzler Olaf Scholz, basiert auf dem Gefühl, dass die Welt ein höchst unsicherer Ort geworden ist. Und dass Deutschland und Europa sich rüsten müssen, um gerade in Zeiten von Krieg, Energiekrise und Klimawandel die Wirtschaft und Gesellschaft resilienter zu gestalten. Kann Künstliche Intelligenz helfen?

Von Beate Strobel



Künstliche Intelligenz soll in Zukunft Naturkatastrophen wie die Jahrhundertflut an der Elbe im August 2002 frühzeitig prognostizieren.

**W**ir erleben eine Zeitenwende«, konstatierte die Fraunhofer-Allianz Big Data bereits 2017 in einer Potenzialanalyse zum Thema Künstliche Intelligenz (KI). Sie sagte voraus, dass diese Technologie »atemberaubend schnell unsere Alltagswelt in Form sprechender Geräte und digitaler Assistenten, kooperativer Roboter, autonomer Fahrzeuge und Drohnen« durchdringen und komfortabler sowie sicherer machen wird.

Ein ambitionierter Schritt in diese Richtung ist das Projekt DAKI-FWS (Daten- und KI-gestütztes Frühwarnsystem zur Stabilisierung der deutschen Wirtschaft), ausgerufen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz innerhalb des »KI Innovationswettbewerbs«. Gestartet im Dezember 2021, soll damit ein Frühwarnsystem entwickelt werden, das sowohl infektiologische Krisen wie eine Virus-Pandemie, aber auch Natur- und Klimakatastrophen wie Hochwasser und Hitzewellen detektieren kann. Damit sollen vor allem Unternehmen frühzeitig gewarnt werden, damit sie Entscheidungen rechtzeitig treffen können.

**Die Idee, Katastrophen mittels Datenanalyse vorherzusagen, ist nicht neu.** »Es gibt bereits viele sehr spezielle Expertenlösungen auf die-

sem Gebiet«, bestätigt der Mathematiker Dr. Jackie Ma, Gruppenleiter Angewandtes Lernen beim Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut HHI, das die Gesamtleitung von DAKI-FWS übernommen hat. Dennoch ragt das Projekt mit seiner Bandbreite möglicher Katastrophen heraus. »Das Spannende ist, dass wir in DAKI-FWS infektiologische Daten – etwa Inzidenzen, Klinikbelegung und Übertragungsrate – verknüpfen mit Datenquellen wie Temperatur, Regenmenge und Verkehrsdaten«, erklärt Ma. Mit dem großen Ziel, das Gesamtbild sehr viel besser beschreiben und Prognosen präziser treffen zu können.

Wird also schon bald ein Supercomputer existieren, dessen Blaulicht uns mitteilt, wenn es in Deutschland oder Europa brenzlich wird? Fraunhofer-HHI-Experte Jackie Ma lacht: »So sieht die Realität nicht aus.« Das Projekt DAKI-FWS soll eine KI-basierte Kriseninterventions-Plattform generieren, die möglichst unkompliziert mit vielen unterschiedlichen Daten gefüttert werden kann. Eine KI analysiert diese und entwickelt Prognosen, die dann wiederum von möglichst vielen Unternehmen eingesehen werden können – ähnlich dem COVID-19-Dashboard, mit

dem das Robert Koch-Institut die aktuellen Corona-Fallzahlen veröffentlicht.

**Das Fraunhofer HHI kann dabei auf das Know-how früherer Fraunhofer-Erfolge aufbauen:** SAUBER liefert KI-Prognosen der Luftqualität in Städten und Regionen anhand von Daten, die vor allem aus dem Raumfahrtprogramm Copernicus stammen. Bei KLIPS hingegen geht es um die KI-gestützte Vorhersage sogenannter Hitzeinseln

in Städten. »Zwischen den beiden Projekten und unserem neuen Frühwarnsystem gibt es viele Parallelen auf technischer Ebene«, erklärt Ma. »Allerdings ist DAKI-FWS deutlich größer angelegt.« An dem Konsortialprojekt sind neben dem Fraunhofer HHI noch die Berliner Charité, die Justus-Liebig-Universität Gießen, das Robert Koch-Institut, das Zuse Institute Berlin und das Hasso-Plattner-Institut für Digital Engineering beteiligt sowie die Unternehmen Budelmann Elektronik, Data4Life, LOGIBALL, NET CHECK und Esri Deutschland.

Während sich Künstliche Intelligenz im Sales- oder Finanzbereich schon bewährt hat, ist der Einsatz im Feld der Naturkatastrophen sehr viel herausfordernder. »Die Welt zu modellieren ist unfassbar schwierig«, erklärt Projektleiter Ma. »Die benötigten Modelle sind extrem komplex, die einflie-

ßenden Datenmengen sind riesig und technisch schwer handhabbar.« Viren halten sich bekanntlich ebenso wie Wetter- und Klimaphänomene nicht an geopolitische Grenzverläufe, weshalb langfristig nur die Nutzung globaler Daten bei DAKI-FWS einen Sinn ergibt. Doch hinsichtlich Qualität und Quantität gibt es eklatante Unterschiede: Während etwa China alles erfasst, aber diese Daten nur höchst ungern teilt, werden im globalen Süden eher wenig Daten erhoben. Hinzu kommt, dass der strenge deutsche und europäische Datenschutz die Nutzung von Big Data erschwert. »Trotzdem darf man beim Datenschutz keine Abstriche machen«, findet Ma. »Ein Frühwarnsystem wie DAKI kann nur funktionieren, wenn Politik, Wirtschaft und Bevölkerung dem System vertrauen.«

Schon heute ist Künstliche Intelligenz »ein Meister der Prognose«, wie es das Hamburger Zukunftsinstitut bilanziert. Und ihr Potenzial wird immer deutlicher erkennbar. Vor allem, wenn es um die Analyse gigantischer Datenmengen in kürzester Zeit geht und darum, Muster zu erkennen und daraus Vorhersagen abzuleiten, ist eine Künstliche Intelligenz unschlagbar. Das macht sich ►

»Ein Frühwarnsystem wie DAKI kann nur funktionieren, wenn Politik, Wirtschaft und Bevölkerung dem System vertrauen.«

Dr. Jackie Ma,  
Gruppenleiter Angewandtes  
Lernen am Fraunhofer HHI

auch die Energiewirtschaft zunehmend zunutze, die durch die wachsende Menge an dezentral eingespeisten erneuerbaren Energiequellen vor einem Problem steht: Wie kann eine verlässliche Stromversorgung für Wirtschaft und Gesellschaft garantiert werden, wenn die Energiespender Wind und Sonne so unzuverlässig sind wie, nun ja, das Wetter eben?

**Aufgabe der Energiewirtschaft**

und insbesondere der Netzbetreiber ist, eine Balance zwischen Stromproduktion und Stromverbrauch herzustellen. Sie müssen infolge der Energiewende immer häufiger eingreifen, da die Stromproduktion wetterabhängiger wird und verstärkt dezentral erfolgt, etwa durch Windkraftanlagen im Norden Deutschlands, deren Energieernte im Süden benötigt wird. Droht irgendwo entlang der Energieautobahnen die Überlastung eines Leitungsschnitts, werden große Kraftwerke vor dem erwarteten Stromstau abgeschaltet und jene dahinter hochgefahren. Ein solcher Eingriff seitens der Netzbetreiber in den ursprünglich eingereichten Einspeisungsplan (»Dispatch«) der Kraftwerke wird »Redispatch« genannt. Er verursacht Extrakosten und führt zu teuren Abschaltungen und Ersatzlieferungen, soll also möglichst selten Verwendung finden.

Seit Oktober 2021 sorgt der sogenannte »Redispatch 2.0« für die Einbeziehung von deutlich mehr kleinen steuerbaren Erzeugungsanlagen in den Redispatch. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geht allerdings bereits einen Schritt weiter und fördert das Forschungsprojekt »Redispatch 3.0«. Um Engpässe bis in die kleinsten Verästelungen des Stromnetzes zu vermeiden, werden hier nun auch Mittel- bis Niederspannungsnetze bis hin zu privaten Kleinanlagen in die Prognose einbezogen. Beteiligt an dem in diesem Jahr gestarteten Projekt unter der Führung des Informatikinstituts OFFIS sind Forschungseinrichtungen, Netzbetreiber, Softwarehersteller sowie die Fraunhofer-Institute für Angewandte Informationstechnik FIT und für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE.

**Die Herausforderung bei Redispatch 3.0:** »Anders als in den Höchst- und Hochspannungsnetzen gibt es auf den niedrigeren Spannungsebenen nur wenige Messpunkte«, erklärt Dr. Frank Marten, Teilprojektleiter beim Fraunhofer IEE. Künstliche Intelligenz soll hier aushelfen, die

blinden Flecken auf der Netz-Landkarte zu füllen. »Die KI ergänzt das unvollständige Abbild des Netzes, indem sie für jedes Kabel und jeden Anschluss einen Zustand sucht, der die gemessenen Ergebnisse am besten erklären könnte«, so der Physiker. »Dafür trainiert man neuronale Netze mit echten Messdaten aus dem Verteilnetz oder mit im Computer nachmodellierten Stromnetzen. In einem zweiten Schritt erhält das neuronale Netz neue, aber unvollständige Daten – und wird aufgefordert, die Lücken zu schließen.«

Das so vervollständigte Bild kann nicht nur echte, sondern auch künftige Situationen im Netz schnell skizzieren und hilft so auch bei Netzprognosen. Denn angesichts der vielen Unwägbarkeiten aufseiten der erneuerbaren Energiequellen, aber auch aufseiten der Stromverbraucher »ergäbe sich eine astronomische Summe an möglichen Kombinationen in der Netzgleichung, um auch nur die nächsten Stunden vorherzusagen«, gibt Marten zu bedenken. »Das Er-

gebnis wäre ein Wahrscheinlichkeitsband der zukünftigen Netzzustände. Die trainierte KI hilft uns, den aufwendigen Schritt der Netzberechnung zu überspringen und viel schneller direkt zu Schätzungen zu kommen.« In Zeiten von immer mehr wetterabhängiger erneuerbarer Stromerzeugung könnte Redispatch 3.0 nicht nur die Sicherheit der Stromversorgung garantieren, sondern auch deren Kosten unter Kontrolle behalten.

**Dass der Planet allerdings eines Tages** ein komplett vorhersehbarer Ort sein wird, da uns eine Künstliche Intelligenz von der fehlenden Milch im Kühlschrank über das schwere Beben im Pazifik bis hin zu großen kriegerischen Auseinandersetzungen rechtzeitig vor allem warnt: Daran glaubt Mathematiker Jackie Ma nicht. »Die Welt besteht nicht aus einfachen Wenn-dann-Folgen, sondern aus höchst komplexen Zusammenhängen mit immer noch vielen Unbekannten.« Insbesondere geopolitische Verwerfungen wie der russische Angriffskrieg in der Ukraine seien kaum langfristig vorhersagbar. Der menschliche Machtwahn bleibt auch mit einer Künstlichen Intelligenz schwer zu erklären. ■

»Die Welt besteht nicht aus einfachen Wenn-dann-Folgen, sondern aus höchst komplexen Zusammenhängen mit immer noch vielen Unbekannten.«

Dr. Jackie Ma, Gruppenleiter  
Angewandtes Lernen, Fraunhofer HHI

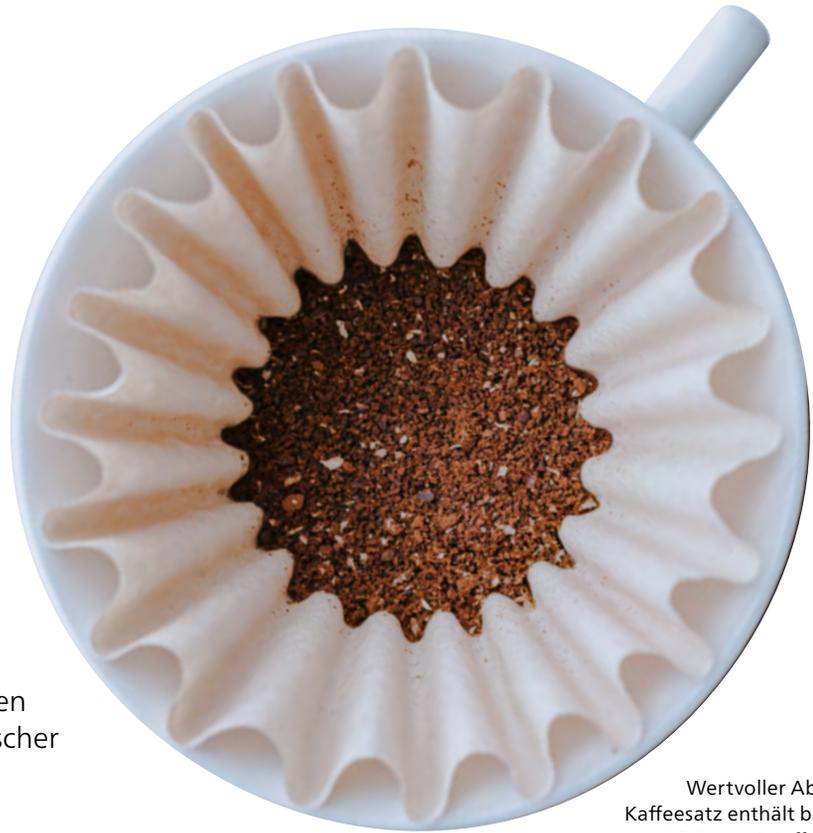
Hier geht's zum Podcast:



# Zweiter Aufguss

Aus dem Kaffeesatz die Zukunft zu lesen, ist eine Verwertungsmöglichkeit – an nachhaltigeren Nutzungen der gehaltvollen Substanz arbeiten Forscherinnen und Forscher im Projekt InKa.

Von Claire Stark



Wertvoller Abfall: Kaffeesatz enthält bis zu 25 Prozent Kaffeeöl.

**K**affeesatz zu hochwertigen Zwischenprodukten verarbeiten will ein Team des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Möglichkeiten sehen die Forscherinnen und Forscher beispielsweise in der Papier- und Kartonindustrie oder in der Biokunststoffproduktion.

Bei der industriellen Herstellung von löslichem Kaffee fällt Kaffeesatz in großen Mengen an. Die eingesetzten Extraktionsanlagen sind zwar um ein Vielfaches ergiebiger als haushaltsübliche Kaffeemaschinen. Trotzdem kommen auf jedes Kilogramm löslichen Kaffee zwei Kilogramm nasser Kaffeesatz, der zurzeit meistens »thermisch verwertet« wird, also verbrannt. Die wertvollen Inhaltsstoffe bleiben ungenutzt. Um verschiedene Verwertungsmöglichkeiten zu testen, trennten die Forscherinnen und Forscher den Kaffeesatz zunächst in seine einzelnen Komponenten, darunter mit einem Anteil von 20 bis 25 Prozent das Kaffeeöl.

**Es besteht bis zu 44 Prozent aus Glycerinestern der Linolsäure**, einer zweifach ungesättigten Fettsäure. »Sonst ist Linol-

säure in solchen Mengen überwiegend in hochwertigen Speiseölen enthalten«, erklärt Dr. Inna Bretz, Leiterin der Abteilung »Zirkuläre und Biobasierte Kunststoffe« am Fraunhofer UMSICHT. »Unser Ziel ist, diese Fettsäure zu isolieren und zu modifizieren, um sie für andere Produkte oder chemische Synthesen nutzbar zu machen.« Dafür führen die Forscherinnen und Forscher eine Umesterung durch: Die Bindung zwischen Linolsäure und Glycerin wird gelöst, die Fettsäure bildet eine neue Verbindung mit einem zugesetzten Alkohol und kann dadurch isoliert werden. Anschließend wird sie chemisch so verändert, dass sie als Additiv in biobasierten Kunststoffen eingesetzt werden kann.

**Auch für den entölte Kaffeesatz** gibt es noch Verwertungsmöglichkeiten. Fraunhofer untersucht mit dem Projektpartner BellePapier GmbH den Einsatz in der Papier- und Kartonherstellung – beispielsweise als braunen Farbstoff für Pappe. Eine weitere Verwendung als Zusatzstoff für Tissue-Anwendungen, wie feuchtes Toilettenpapier, wird gerade geprüft.

Bis zur Marktreife muss das Verfahren noch einige Herausforderungen bewältigen. Dazu zählt das Scale-up der Prozesse vom Labor zur industriellen Fertigung. »Zwischen dem Kaffeesatz und unseren Additiven für Biokunststoffe liegen bis zu fünf Verfahrensschritte. Und jeder Schritt muss in der Maßstabsvergrößerung auch entsprechend angepasst werden«, so Bretz. Die Logistik ist ebenfalls anspruchsvoll. Transport und Lagerung müssen optimiert werden, um Schimmelbildung, die damit einhergehende Veränderung der Inhaltsstoffe und das Entstehen toxischer Substanzen zu verhindern. Deshalb beschränkt sich InKa auf industrielle Partner, die zur Herstellung löslichen Kaffees schon Gefriertrocknung einsetzen und daher auch den Kaffeesatz gefriergetrocknet versenden können. Dafür sucht das Projekt noch weitere Unternehmen aus der Branche, die Interesse an einer Kooperation haben. ■

Hier geht's zum Podcast:



## Stimme aus der Wirtschaft



DIHK-Außenwirtschaftschef Dr. Volker Treier beim 16. Exportkontrolltag in Berlin.

# Aus dem Takt

»Just in time« fällt aus der Zeit, wenn Containerschiffe sich stauen und der Logistik Personal fehlt. Wir brauchen Impulse für mehr Resilienz.

Ein Standpunkt von Dr. Volker Treier, DIHK-Außenwirtschaftschef

**M**it einer Veränderung von Transportwegen rechnen langfristig 36 Prozent der Unternehmen, 27 Prozent mit einer stärkeren Diversifizierung ihrer Lieferanten. 22 Prozent planen oder erwarten zumindest Verlagerungen von Produktionsstätten oder Niederlassungen, um näher an Absatzmärkte zu rücken und Transportwege zu verkürzen. Dies sind Ergebnisse einer aktuellen weltweiten Um-

frage unter den Mitgliedsunternehmen der deutschen Auslandshandelskammern.

Die Corona-Pandemie hat die globalen Lieferketten aus dem Takt gebracht und mit ihnen die international vernetzte deutsche Wirtschaft. Wo sonst Unternehmen ihre Materialien just in time für die Produktion geliefert bekamen, sorgen seit Monaten Staus von Containerschiffen, Personalmangel in der Logistikbranche und ein Ungleichgewicht von An-

gebot und Nachfrage für leere Lagerhallen, gedrosselte Produktionen und enorme Preissteigerungen. Für die exportorientierte – und stark mittelständisch geprägte – deutsche Industrie ist das Lieferkettenmanagement zu einer großen Herausforderung geworden.

Erneute Lockdowns in China – Deutschlands wichtigstem Handelspartner – sowie Verwerfungen im Welthandel aufgrund des Kriegs in der Ukraine und der Sanktionen gegen Russland rücken eine Verbesserung der Lieferketten abermals in weite Ferne.

Über handels-, industrie- und umweltpolitische Maßnahmen ließen sich die Auswirkungen der Materialknappheit und Preissteigerungen abmildern. Kurzfristig könnte die Aussetzung von Zöllen oder Strafzöllen auf bestimmte Mangelprodukte Entlastung bringen. So erhebt die Europäische Union (EU) verschiedene Antidumpingzölle auf Stahl-, Aluminium- oder Düngemittelprodukte, die derzeit in Europa Mangelware sind oder bei denen die Preise stark gestiegen sind.

Unabhängig von politischen Eingriffen sind die Unternehmen mit Hochdruck dabei, ihre Lieferketten widerstandsfähiger zu gestalten. Wie die Umfragezahlen belegen, stellen sie ihre Lieferbeziehungen und Produktionsstandorte kritisch auf den Prüfstand.

**Das Netzwerk der 79 Industrie- und Handelskammern in Deutschland** sowie der deutschen Auslandshandelskammern (AHK) an 140 Standorten in über 90 Ländern unterstützt Unternehmen aktiv bei dieser Neuausrichtung ihrer Lieferketten. So haben mehrere europäische Auslandshandelskammern das AHK Industrial Supplier Forum ins Leben gerufen mit dem Ziel, industrielle Lieferanten aus europäischen Ländern mit Einkäufern und Vertriebspartnern aus Deutschland zu vernetzen und so eine der größten Lieferantengemeinschaften Europas zu schaffen. Zudem fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Rohstoffkompetenzzentren, die bei mehreren AHKs in rohstoffreichen Ländern angesiedelt sind. Ziel dieser Kompetenzzentren ist es, über Chancen und Risiken in den Märkten zu informieren und die Unternehmen beim Aufbau von Geschäftsbeziehungen zu unterstützen – sei es bei der Beschaffung von Rohstoffen oder bei der Vermarktung eigener Bergbautechnologien.

Die Politik ist gefordert, durch geeignete Rahmenbedingungen die Neuausrichtung von

»Es braucht mehr Forschung – sowohl für Materialien, die recycelbar und kreislauffähig sind, als auch für den Einsatz von recycelten Materialien anstelle der Verwendung von Primärrohstoffen.«

## Dr. Volker Treier

- ▶ ist seit Januar 2019 Außenwirtschaftschef des DIHK und Mitglied der Hauptgeschäftsführung.
- ▶ erhielt seinen ersten Anstellungsvertrag beim Deutschen Industrie- und Handelskammertag e.V. im Jahr 2003 und übernahm seitdem zahlreiche Funktionen: vom Referatsleiter für Konjunktur- und Wachstumspolitik zum Leiter des Bereichs International.
- ▶ studierte Volkswirtschaftslehre und promovierte in Bamberg über den Fiskalwettbewerb in Mittel- und Osteuropa: »Realität oder Fiktion?«.
- ▶ ist am 6. August 1969 im baden-württembergischen Creglingen geboren.

Lieferketten zu unterstützen. So können etwa die Diversifizierung von Importquellen und der Ausbau sowie die Intensivierung von Handelspartnerschaften durch Handelsabkommen Unternehmen helfen, ihr Lieferantennetzwerk in mehrere Länder und Regionen zu verteilen. Denn: Verlässliche Handelsabkommen bauen Handelshemmnisse ab und schaffen gemeinsame Standards, dazu Rechts- und Planungssicherheit als Grundlage. Die EU könnte hierzu etwa die ausverhandelten Handelsabkommen mit dem Mercosur, dem gemeinsamen Markt Südamerikas mit Chile, Mexiko oder Neuseeland, umsetzen.

**Neben handelspolitischen Maßnahmen** sollte die EU auch industrie- und umweltpolitisch wichtige Impulse für die Resilienz von Lieferketten setzen. Ein Ausbau der Kreislaufwirtschaft in Deutschland und der EU kann einen Beitrag für die Sicherstellung ausreichender Rohstoffverfügbarkeit leisten. Eine vermehrte Wiederverwendung von Materialien sorgt nicht nur für weniger Emissionen, sondern auch für eine größere Unabhängigkeit bei Importen von Primärrohstoffen. Es braucht mehr Forschung und Entwicklung sowohl für Materialien, die recycelbar und damit kreislauffähig sind, als auch für den Einsatz von recycelten Materialien anstelle der Verwendung von Primärrohstoffen. Auch eine höhere Energieeffizienz in der Industrie trägt zur Abmilderung von Rohstoffknappheiten bei und bietet Raum für weitere Forschung, etwa um den Nutzungsgrad von Energieträgern zu erhöhen und mit einer Umrüstung von Maschinen energieeffizienter zu produzieren sowie die Verarbeitung alternativer Materialien möglich zu machen. Politische Maßnahmen zur Förderung von Forschungsvorhaben sowie zur Entwicklung des notwendigen Fachkräftepotenzials und zur Beseitigung von regulatorischen Hürden in diesen Bereichen würden sich hier ebenfalls positiv auswirken.

In Zeiten, in denen die Lieferketten der Unternehmen so aus dem Takt geraten sind, sorgen allerdings steigende bürokratische Anforderungen an Unternehmen, wie etwa das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, für weitere Herausforderungen. Um die Risiken in ihren Lieferketten zu überblicken, werden sich Unternehmen tendenziell auf weniger Zulieferer aus weniger Ländern beschränken, was der nötigen Diversifizierung und damit der Resilienz der Lieferketten entgegensteht. ■

# Alexa, wir müssen reden!

Amazon Alexa oder Google Assistant sammeln pausenlos Benutzerdaten. Ein Forscherteam des Fraunhofer FIT will Nutzerinnen und Nutzern dabei unterstützen, ihre Privatsphäre besser zu schützen.

Von Britta Widmann

**A**lexa, Google Assistant und Co. begeistern im Smart Home – die einen. Die anderen sehen in Sprachassistenten moderne Spitzel, ermüdungsfrei und allzeit betriebsbereit, die über die in Smart Speakern und Smartphones eingebauten Voice Assistants (VA) Daten sammeln über das tägliche Leben der Anwender. Im Projekt CheckmyVA entwickeln Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT zusammen mit Partnern eine Internet-Plattform, die User bei der Wahrung ihrer per Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) garantierten Rechte unterstützt. Mithilfe gängiger Data-Science- und KI-Methoden werden die Daten aufbereitet und nutzerzentriert visualisiert, um Verbraucherinnen und Verbraucher dafür zu sensibilisieren, welche Verhaltensmuster aus den Daten herausgelesen werden und für welche Zwecke diese Informationen durch Dritte genutzt werden können.

**Zudem sollen die Nutzer** so ein einfaches Werkzeug erhalten, mit dem sie ihre DSGVO-Rechte umsetzen können. Durch die DSGVO haben Verbraucherinnen und Verbraucher zwar die Möglichkeit, Auskunft über ihre gesammelten Daten zu erhalten, diese zu ändern oder zu löschen. Der dazu notwendige Prozess ist den meisten jedoch nicht bekannt und die Auskunft in Form einer Sammlung von Rohdaten für Laien unverständlich.

»Bei der Plattform handelt es sich um ein Dashboard, das als Plug-in im Browser

läuft. Die User können hier ganz unkompliziert eine Kopie ihrer Daten beantragen. Der Link zu Datenschutzeinstellungen ist schnell auffindbar«, sagt Dominik Pins, Projektkoordinator und Wissenschaftler



am Fraunhofer FIT, Abteilung Human-Centered Engineering and Design.

Das Dashboard visualisiert die Gespräche mit den Sprachassistenten auf einer Zeitleiste und macht die Transkriptionen transparent. So wird etwa dargestellt, welche Befehle gegeben und wie häufig unbeabsichtigte Befehle ausgeführt wurden. Auch die Antworten des Sprachassistenten sind erkennbar. »Die Nutzer können mithilfe der Plattform ihre Datenspuren re-

flektieren«, zieht Projektleiter Pins ein Resümee und ist sich sicher: »So können sie ihre Datenkompetenz verbessern.« Das Dashboard für Google Chrome und Mozilla Firefox lässt sich kostenfrei über die jeweiligen Browser-Einstellungen oder die Projektwebseite herunterladen.

**Methodisch setzt das Projekt** auf ein sogenanntes Living Lab, ein experimentelles Lernumfeld. 33 Haushalte aus ganz Deutschland nehmen teil, darunter Familien und Paare, aber auch Singles. Knapp drei Jahre lang begleiten die Forscherinnen und Forscher die Teilnehmenden und tauschen sich regelmäßig mit ihnen über die Nutzung von Sprachassistenten und die Bedenken aus. Wie wird der Sprachassistent – im Fokus stehen Amazon Alexa und Google Assistant – verwendet? Werden Smart-Home-Funktionen genutzt? Ist der Sprachassistent permanent im Betrieb oder wird er nur bei Bedarf aktiviert? Verändert sich die Nutzung über den Projektzeitraum? Sind sich die Haushalte bewusst darüber, was mit den Aufnahmen passiert? Welche

Praktiken zum Datenschutz wenden die User an? Welche Probleme tauchen dabei auf? Was weiß ein Sprachassistent über einen Haushalt, welche Daten speichert er? Ziel des Living Labs ist es, die Nutzungspraktiken zu erheben, gemeinsam mit den Verbraucherinnen und Verbrauchern die Anforderungen an die Plattform zu entwickeln und die Nutzung der prototypisch entwickelten Plattform unter realen Bedingungen zu erproben. ■

## **Staffellauf des Wissens**

***Wasserstoff***

***Knallgas***

***sicher***

***?***

# Alexa, wir müssen reden!

Amazon Alexa oder Google Assistant sammeln pausenlos Benutzerdaten. Ein Forscherteam des Fraunhofer FIT will Nutzerinnen und Nutzern dabei unterstützen, ihre Privatsphäre besser zu schützen.

Von Britta Widmann

**A**lexa, Google Assistant und Co. begeistern im Smart Home – die einen. Die anderen sehen in Sprachassistenten moderne Spitzel, ermüdungsfrei und allzeit betriebsbereit, die über die in Smart Speakern und Smartphones eingebauten Voice Assistants (VA) Daten sammeln über das tägliche Leben der Anwender. Im Projekt CheckmyVA entwickeln Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT zusammen mit Partnern eine Internet-Plattform, die User bei der Wahrung ihrer per Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) garantierten Rechte unterstützt. Mithilfe gängiger Data-Science- und KI-Methoden werden die Daten aufbereitet und nutzerzentriert visualisiert, um Verbraucherinnen und Verbraucher dafür zu sensibilisieren, welche Verhaltensmuster aus den Daten herausgelesen werden und für welche Zwecke diese Informationen durch Dritte genutzt werden können.

**Zudem sollen die Nutzer** so ein einfaches Werkzeug erhalten, mit dem sie ihre DSGVO-Rechte umsetzen können. Durch die DSGVO haben Verbraucherinnen und Verbraucher zwar die Möglichkeit, Auskunft über ihre gesammelten Daten zu erhalten, diese zu ändern oder zu löschen. Der dazu notwendige Prozess ist den meisten jedoch nicht bekannt und die Auskunft in Form einer Sammlung von Rohdaten für Laien unverständlich.

»Bei der Plattform handelt es sich um ein Dashboard, das als Plug-in im Browser

läuft. Die User können hier ganz unkompliziert eine Kopie ihrer Daten beantragen. Der Link zu Datenschutzeinstellungen ist schnell auffindbar«, sagt Dominik Pins, Projektkoordinator und Wissenschaftler



am Fraunhofer FIT, Abteilung Human-Centered Engineering and Design.

Das Dashboard visualisiert die Gespräche mit den Sprachassistenten auf einer Zeitleiste und macht die Transkriptionen transparent. So wird etwa dargestellt, welche Befehle gegeben und wie häufig unbeabsichtigte Befehle ausgeführt wurden. Auch die Antworten des Sprachassistenten sind erkennbar. »Die Nutzer können mithilfe der Plattform ihre Datenspuren re-

flektieren«, zieht Projektleiter Pins ein Replumee und ist sich sicher: »So können sie ihre Datenkompetenz verbessern.« Das Dashboard für Google Chrome und Mozilla Firefox lässt sich kostenfrei über die jeweiligen Browser-Einstellungen oder die Projektwebseite herunterladen.

**Methodisch setzt das Projekt** auf ein sogenanntes Living Lab, ein experimentelles Lernumfeld. 33 Haushalte aus ganz Deutschland nehmen teil, darunter Familien und Paare, aber auch Singles. Knapp drei Jahre lang begleiten die Forscherinnen und Forscher die Teilnehmenden und tauschen sich regelmäßig mit ihnen über die Nutzung von Sprachassistenten und die Bedenken aus. Wie wird der Sprachassistent – im Fokus stehen Amazon Alexa und Google Assistant – verwendet? Werden Smart-Home-Funktionen genutzt? Ist der Sprachassistent permanent im Betrieb oder wird er nur bei Bedarf aktiviert? Verändert sich die Nutzung über den Projektzeitraum? Sind sich die Haushalte bewusst darüber, was mit den Aufnahmen passiert? Welche

Praktiken zum Datenschutz wenden die User an? Welche Probleme tauchen dabei auf? Was weiß ein Sprachassistent über einen Haushalt, welche Daten speichert er? Ziel des Living Labs ist es, die Nutzungspraktiken zu erheben, gemeinsam mit den Verbraucherinnen und Verbrauchern die Anforderungen an die Plattform zu entwickeln und die Nutzung der prototypisch entwickelten Plattform unter realen Bedingungen zu erproben. ■

## Staffellauf des Wissens

**Bei Wasserstoff**  
denken viele an die  
**Knallgasreaktion** –  
Herr Prof. Tobias  
Melz, **wie sicher**  
**sind die neuen**  
**Technologien?**

## Staffellauf des Wissens, Folge 5

# Bei Wasserstoff denken viele an die Knallgasreaktion – Herr Prof. Tobias Melz, wie sicher sind die neuen Technologien?

### **Serie:**

### **Staffellauf des Wissens**

Unsere Zeit wirft **viele Fragen auf – Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten.** Eine Fachfrau oder ein Fachmann gibt **eine Antwort** und stellt **eine Frage**, die sie oder er an den nächsten **Experten weiterreicht – ein »Staffellauf des Wissens«.** In dieser Ausgabe antwortet **Prof. Tobias Melz**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, auf eine Frage von **Prof. Anke Weidenkaff**, Leiterin der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS.

**A**uch wenn häufig nur wenig über die Wasserstoff-(H<sub>2</sub>-)Technologie bekannt ist, so wird sie doch als wichtiger künftiger Baustein unserer Energieversorgung gesehen. Klimaschutz, Ukrainekrieg und die akuten Einschränkungen bei Erdgas machen H<sub>2</sub> zu einer vielversprechenden Alternative – bei allen berechtigten kritischen Fragen dazu. Diskutiert wird über Herstellung, Kosten und Infrastruktur, auch die Sicherheit wird oft bezweifelt. Wie aus dem Chemie-Unterricht bekannt, kommt es bei einer Freisetzung von Wasserstoff zu einer Knallgas-Explosion. Welche Risiken bestehen darüber hinaus? Und sind sie beherrschbar?

Sicherheit und Zuverlässigkeit sind wichtig. Jede neue Technologie birgt Chancen und Risiken, die erkannt, verstanden und sicher beherrscht werden wollen. Es ist Aufgabe von uns Ingenieurinnen und Ingenieuren, dies zu tun. Allein in den Weiten der Fraunhofer-Welt beschäftigen sich zurzeit drei große Projekte mit den aufgeworfenen Fragen zur Wasserstoff-Technologie – H<sub>2</sub>Giga, H<sub>2</sub>Mare und TransHyDE. Auch am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF wird intensiv dazu geforscht, insbesondere zur Zuverlässigkeit. Hier geht es zunächst um die Eigenschaften von H<sub>2</sub>, vor allem aber um dessen



Prof. Tobias Melz leitet das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF.

Wechselwirkung mit Materialien und um Vorkehrungen, die getroffen werden können, um mehr Sicherheit zu gewährleisten.

H<sub>2</sub>-Moleküle sind sehr klein und können unter anderem in Metalloberflächen eindringen und mit ihnen wechselwirken. Bei Raumtemperatur ist H<sub>2</sub> gasförmig, flüchtig wird er erst bei -253 °C. Mit Sauerstoff reagiert er leicht zu Wasser. Diese Reaktion setzt viel Energie frei und ist die Grundlage dafür, dass wir H<sub>2</sub> überhaupt als Energieträger einsetzen. Unkontrolliert kann das in der Tat explosionsartig geschehen, doch kontrolliert, beispielsweise in einer Brennstoffzelle, ist diese Umsetzung sicher, weil sie auf molekularer Ebene in den Zellen und nicht in großen Gasvolumen stattfindet.

### H<sub>2</sub> – der Alleskönner

In der Industrie wird Wasserstoff schon sehr lange in großem Umfang eingesetzt – sei es zur Rohstoffgewinnung, in Prozessen oder auch in der Ammoniak- und Düngemittelherstellung. Auch die Elektrolyse und die Brennstoffzelle sind seit über 150 Jahren bekannt. Neu sind deren technische Weiterentwicklung mitsamt innovativen Materialien, Strukturen, Anwendungen sowie den dazugehörigen Rahmenbedingungen. Darüber hinaus müssen auch Umnutzungen bestehender Strukturen wie etwa des Erdgasnetzes betrachtet werden.

Neben wirtschaftlichen Herausforderungen ergibt sich eine wesentliche Pro-

blematik daraus, dass H<sub>2</sub> – gerade unter klassischen Betriebsbedingungen – bei verschiedenen Materialien bedingt durch die Wechselwirkung zu Versprödung und Rissbildung und damit zu Undichtigkeiten, unkontrolliertem Austritt oder sogar zu Brüchen führen kann. Die gleichzeitige chemische und mechanische Belastung sowie die daraus resultierenden lokalen und globalen Auswirkungen auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen gilt es zu verstehen und in der Auslegung und im Betrieb zu beherrschen. Dabei folgt in der Regel der Identifikation der Werkstoff-, Bauteil- und Systembeanspruchungen die Analyse der Beanspruchbarkeiten. Das geschieht zunehmend durch eine Verknüpfung digitaler und experimenteller Methoden. Zudem können die H<sub>2</sub>-beaufschlagten Bauteile im Betrieb auch kontinuierlich überwacht werden, um Schäden schnellstmöglich detektieren und Maßnahmen einleiten zu können. Sind die Schädigungsmechanismen bekannt, lassen sich mit geeigneten Digitalen Zwillingen neben der Überwachung auch Zuverlässigkeitsprognosen für das Gesamtsystem treffen und Auswirkungen bei Schädigungen und Versagen von Teilsystemen abschätzen.

Gerade beim Umgang mit derartigen vernetzten Systemen stellt sich damit eine weitere sicherheitstechnische Frage: Wie sind die kritischen Infrastrukturen in Forschung und Wirtschaft in Deutschland in Bezug auf Cybersicherheit aufgestellt? ■

#### In der nächsten Ausgabe

Wie sind die **kritischen Infrastrukturen** in Forschung und Wirtschaft **in Deutschland** in Bezug auf Cybersicherheit aufgestellt?

**Sicherheit und Zuverlässigkeit sind wichtig. Jede neue Technologie birgt Chancen und Risiken, die erkannt, verstanden und sicher beherrscht werden wollen.**

**Cyberwar**

# Alarmstufe Rot im Cyberspace

Die Invasion in die Ukraine zeigt: Gekämpft wird schon lange nicht mehr nur auf dem Schlachtfeld, sondern auch im virtuellen Raum – mit hochprofessionellen Hackerangriffen und gezielter Desinformation. Wie kann Deutschland wehrhafter werden?

Von Dr. Sonja Endres  
Fotografie: Gene Glover, Jonas Ratermann

A portrait of Martin Seiffert, a man with dark hair and glasses, wearing a light-colored button-down shirt. He is looking slightly to the left of the camera. The background is a wall with a pattern of green and yellow diagonal stripes.

»Die Grenzen zwischen eigenem Netzwerk und Außenwelt verschwimmen. Sicherheitskonzepte, die darauf beruhen, alle Komponenten in ein sicheres Netzwerk zu packen, werden dieser Entwicklung nicht mehr gerecht«, ist Martin Seiffert vom Fraunhofer AISEC überzeugt.

**M**onate bevor Putin seinen Truppen den Marschbefehl gab, begann der Krieg im Internet. Hacker haben die russische Invasion mindestens seit Dezember des vergangenen Jahres vorbereitet. Zu diesem Schluss kommt Prof. Haya Shulman, die die Cyberangriffe auf die ukrainische Infrastruktur untersuchte. Shulman leitet die Abteilung »Cybersecurity Analytics and Defences« am Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt, koordiniert den Forschungsbereich »Analytics Based Cybersecurity« am Nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE und hat einen Lehrstuhl an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Eine ihrer Erkenntnisse: Die Malware, die dafür gesorgt hat, dass die Systeme des Kommunikationssatelliten KA-SAT am Tag des russischen Einmarsches in die Ukraine ausfielen, wurde be-

»Andernfalls wären die Fluchtmöglichkeiten für die Bevölkerung stark eingeschränkt gewesen«, ist Shulman überzeugt. Sie und ihr Team identifizierten außerdem zahlreiche Denial-of-Service-Attacken, bei denen Web-Server gezielt mit so vielen Anfragen bombardiert werden, dass das System die Aufgaben nicht mehr bewältigen kann und zusammenbricht. Im Visier der Hacker waren unter anderem Telekommunikationsunternehmen, Medien und wichtige Regierungsstellen. Offizielle Webseiten waren oft nicht erreichbar, aktuelle Informationen über das Kriegsgeschehen blieben für weite Teile der Bevölkerung unzugänglich. Auch sogenannte Defacements registrierten Shulman und ihr Team. Dabei imitieren Hacker häufig angesteuerte Webseiten. Teilweise war das Ziel Desinformation, auf diese Weise kann aber auch Schadsoftware installiert werden. Ein Klick auf die Fälschung, und ein Ausführprogramm öffnet sich,



»Dass man davon nichts merkt, heißt ja nicht, dass nichts passiert. Malware kann jahrelang unentdeckt in den Systemen schlummern, immer bereit, loszuschlagen.«

Prof. Haya Shulman, Fraunhofer SIT

reits vor Monaten eingeschleust. KA-SAT versorgt Kunden in ganz Europa mit Breitbandinternet und wird von der ukrainischen Armee für die Notfallkommunikation genutzt. »Ziel der Hacker war, die Kommunikation zu unterbinden – und das ist ihnen auch gelungen. Einen Monat hat es gedauert, bis der Schaden, zumindest größtenteils, behoben werden konnte«, sagt Shulman. Auch in Deutschland und ganz Mitteleuropa blieb der russische Angriff auf KA-SAT nicht ohne Folgen: 5800 Windkraftanlagen konnten nicht mehr ferngewartet und -gesteuert werden. Betroffen waren Anlagen an abgelegenen Standorten, die über eine Satellitenverbindung ans Internet angeschlossen sind. Sie lieferten zwar weiterhin Strom. Technische Probleme ließen sich aber nur noch vor Ort feststellen und beheben.

Auch im ukrainischen Eisenbahnsystem wurde vor der russischen Invasion Schadsoftware installiert. Glücklicherweise wurde sie vor Kriegsbeginn entdeckt und das System bereinigt.

das Malware auf dem Rechner installiert. Daneben gab es zahlreiche Wiper-Angriffe. Wiper ist Schadsoftware, die Systeme unbrauchbar macht, indem sie kritische Daten löscht. »Mindestens sieben verschiedene Wiper wurden verwendet. Manche wurden speziell für Endgeräte entwickelt, manche für Server, manche für Netzwerkgeräte. Auch beim KA-SAT-Angriff kam ein Wiper zum Einsatz«, erklärt Shulman. Das Ziel aller Angriffe: Die Kommunikation weitgehend unterbinden, Panik und Chaos schüren, das Land insgesamt schwächen. Neu ist diese Art der Kriegsführung im Internet nicht: Die russische Invasion in Georgien 2008 wurde von sehr ähnlichen Cyberangriffen flankiert.

### Erhebliche Schäden durch Hacker-Angriffe

Nach der Annexion der Krim 2014 war die Ukraine immer wieder Schauplatz heftiger Hacker-Attacken. 2015 legten staatliche oder staatsnahe ►





Im Haifischbecken des World Wide Web gelang Prof. Haya Shulman schon manch großer Fang. Die Israelin mit deutschen Wurzeln hat ihr Handwerk in der Cybersecurity-Einheit der israelischen Armee gelernt, die weltweit als Eliteschmiede gilt.

# 146 363

Fälle von Cyberkriminalität erfasste das BKA im Jahr 2021.

Gruppen aus Russland Teile des ukrainischen Stromnetzes lahm. 2017 verursachte die Malware NotPetya zuerst in der Ukraine und dann weltweit Schäden in Höhe von mindestens zehn Milliarden US-Dollar. Daraus hat die Ukraine gelernt. In den vergangenen Jahren wurde die Cybersicherheit – auch mit westlicher Hilfe – erheblich verbessert. Daher gelang es, Malware wie die im Eisenbahnsystem rechtzeitig zu entdecken und unschädlich

den zusammen. Sie befürchten, dass Russland auf den steigenden Druck durch Sanktionen und politische und wirtschaftliche Isolation mit noch mehr Desinformation, Cyberangriffen und -spionage antworten wird. Vermutlich seien die Attacken schon in vollem Gange, glaubt Shulman, und erinnert an die systematische Vorbereitung des Angriffs auf die Ukraine. »Dass man davon nichts merkt, heißt ja nicht, dass nichts passiert.

»Sollen die Maßnahmen auf einer Zero-Trust-Strategie beruhen, heißt das, der Datenverkehr und jeder Zugriff wird ständig überwacht.«

Martin Seiffert, Fraunhofer AISEC



zu machen, bevor sie aktiviert werden konnte. »Auch in Deutschland ist es dringend notwendig, die Cybersicherheit von Behörden, Unternehmen und unserer Infrastruktur insgesamt deutlich zu erhöhen«, mahnt Shulman nachdrücklich. Bundesinnenministerin Nancy Faeser geht davon aus, dass bis 2030 mehr als zehn Milliarden Euro in die Verbesserung der Cybersicherheit investiert werden müssen – vor allem in die Netze des Bundes, über die Ministerien und Behörden kommunizieren.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) beurteilte die IT-Sicherheitslage in Deutschland bereits 2021 als »angespannt bis kritisch«. Nicht nur die Anzahl der festgestellten Schadprogramm-Varianten sei zeitweise rasant angestiegen und habe mit bis zu 553 000 neuen Varianten pro Tag den höchsten jemals gemessene Wert erreicht. Auch die Qualität der Angriffe habe beträchtlich zugenommen. Das Bundeskriminalamt (BKA) registrierte im vergangenen Jahr einen neuen Höchstwert von 146 363 erfassten Cyberstraftaten – ein Zuwachs von mehr als zwölf Prozent im Vergleich zu 2020. Die durch die Corona-Pandemie beschleunigte Digitalisierung habe eine Vielzahl neuer Tatgelegenheiten für Cyberkriminelle geschaffen. Der Ukraine-Krieg und dabei eingesetzte hybride Angriffsformen haben laut BKA das Potenzial, »als weiterer Katalysator für Cybercrime zu dienen«.

Shulman und ihre Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer SIT arbeiten eng mit den Behör-

Malware kann jahrelang unentdeckt in den Systemen schlummern, immer bereit, loszuschlagen. Cyberspionage findet im Verborgenen statt. Ein erfolgreicher Angriff ist einer, der nicht entdeckt wird – und die Hacker-Gruppen des russischen Militärnachrichtendienstes GRU und des Inlandsgeheimdienstes FSB sind äußerst professionell.«

### Ein »Weiter so« darf es nicht geben

Um hier besser gerüstet zu sein, reicht es nicht, weiterzumachen wie bisher. Schwachstellen zu schließen, Updates regelmäßig aufzuspielen oder gefälschte E-Mails zu blockieren ist nach wie vor wichtig – aber zu wenig, um Cyberangriffe in Zukunft zuverlässig abzuwehren. Shulman fordert daher eine grundlegende Umstellung von IT-Systemen auf sogenannte Zero-Trust-Sicherheitsarchitekturen. Das Prinzip: Niemandem wird vertraut – auch nicht im eigenen Netzwerk. Klassische perimeterbasierte Konzepte sichern IT-Systeme durch Firewalls und eine geschützte Netzwerkverbindung (VPN). Hat der Angreifer diese Schutzmauer erfolgreich überwunden, kann er sich im Netzwerk frei bewegen. Bei Zero-Trust-Modellen ist das anders. Jeder Datenzugriff verlangt nach einer neuen Authentifizierung. Der Kreis der Berechtigten soll möglichst klein gehalten werden, um Sicherheitsrisiken zu minimieren. Ständig aktualisierte Richtlinien legen fest, welche Nutzer, Dienste, Geräte und Anwendungen interagieren dürfen.

Die USA gehen hier bereits voran: Im Januar wurden alle Bundesbehörden dazu verpflichtet, bis Ende **2024** Zero-Trust-Sicherheitsarchitekturen umzusetzen.

Bereits vor dem Ukraine-Krieg ging der Trend deutlich zu Zero-Trust-Systemen. Die USA gehen hier voran: Im Januar wurden alle Bundesbehörden dazu verpflichtet, bis Ende 2024 Zero-Trust-Sicherheitsarchitekturen umzusetzen. Die jüngsten weltpolitischen Entwicklungen könnten den Umstellungsprozess auch in Deutschland erheblich beschleunigen. Haya Shulman und ihr Team unterstützen ebenso wie die Kollegen am Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC Unternehmen und verschiedene Organisationen dabei, ihre IT sicherer zu machen. Dafür erstellen sie zunächst ein Modell des Gesamtsystems. »Wir überprüfen: Welche Daten werden zu welchem Zweck zwischen den Komponenten ausgetauscht oder gespeichert? Dann ermitteln wir Schutzziele, zum Beispiel die Gewährleistung der Vertraulichkeit der Daten oder ihre Integrität, also ihre Unveränderlichkeit«, erklärt Martin Seiffert, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Secure Systems Engineering am Fraunhofer AISEC. Abschließend analysieren sie, wie leicht es für Angreifer ist, die Schutzziele zu verletzen, und entwickeln Maßnahmen, die den Bedrohungen entgegenwirken.

tem und beraten die Unternehmen, was individuell sinnvoll ist, umzusetzen.« Generell sei die Umstellung jedoch eine Investition, die sich lohne angesichts der enormen Schäden, die durch Cyberangriffe drohen.

Trotzdem: Hundertprozentige Sicherheit wird es auch mit Zero-Trust nicht geben. Haya Shulman setzt sich daher für den Aufbau einer aktiven staatlichen Cyberabwehr ein – gezielte Maßnahmen, um laufende Cyberangriffe zu stoppen oder Angriffsinfrastrukturen frühzeitig lahmzulegen. Dabei gilt es, Kollateralschäden zu vermeiden: Werden beispielsweise Netze blockiert, können davon auch Unbeteiligte betroffen sein. Nur Experten können die Folgen solcher Abwehrmaßnahmen im Vorfeld zuverlässig abschätzen. Die Schäden durch den Angriff und die Risiken möglicher Verteidigungsmaßnahmen müssen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Shulman und ihr Team führen Simulationen durch und entwickeln Verfahren, um Angriffe wirkungsvoll zu bekämpfen und dabei Schäden zu minimieren. Eindringlich warnt sie jedoch vor sogenannten »Hackbacks«, mit denen aktive Cyberabwehr oft irrtümlich gleichgesetzt wird. Hackbacks sind di-

Doch Cyberangriffe sind nicht die einzige Gefahr. Die Bedrohung ist hybrid. Desinformationskampagnen sollen das Vertrauen in Medien und Politik untergraben.



»Ob es sich bei einer Nachricht tatsächlich um eine Desinformation handelt oder nicht, muss der Mensch entscheiden. Wir identifizieren lediglich verdächtige Meldungen.«

Prof. Martin Steinebach, Fraunhofer SIT

»Sollen die Maßnahmen auf einer Zero-Trust-Strategie beruhen, heißt das, der Datenverkehr und jeder Zugriff wird ständig überwacht. Dabei muss der Datenschutz immer gewährleistet sein«, so Seiffert. Würde eine Nutzerin zum Beispiel aus Deutschland Daten abrufen und eine Stunde später aus Panama, erkennt das System, dass etwas nicht plausibel ist. Der Zugriff würde verweigert. Dabei gibt es keine Einschränkungen der Benutzerfreundlichkeit – die zusätzliche Überprüfung, die vielfältige Kriterien zur Bestätigung der Vertrauenswürdigkeit abfragt, läuft automatisiert im Hintergrund. Shulman betont: »Hinter Zero Trust steckt ganz viel Technologie. Man muss nicht alles übernehmen. Wir analysieren das Gesamtsys-

tem und beraten die Unternehmen, was individuell sinnvoll ist, umzusetzen.« Generell sei die Umstellung jedoch eine Investition, die sich lohne angesichts der enormen Schäden, die durch Cyberangriffe drohen.

gitale Vergeltungsschläge, wie sie beispielsweise von russlandnahen Hackgruppen durchgeführt wurden und zu denen auch die Ukraine am Beginn des Krieges aufgerufen hat. »Unerfahrene Hacker können im Internet viel Unheil anrichten. Wenn die ganze Welt jetzt anfängt, sich im Cyberspace anzugreifen, kann das schnell unkontrollierbar eskalieren.«

### Das Ziel: die Demokratie schwächen

Doch Cyberangriffe sind nicht die einzige Gefahr. Die Bedrohung ist hybrid. Desinformationskampagnen sollen das Vertrauen in Medien und Politik untergraben und demokratische ►





Prof. Martin Steinebach vom Fraunhofer SIT will Lügen im Netz bekämpfen – auch mithilfe von Künstlicher Intelligenz.

Gesellschaften schwächen. Dabei sind Desinformation und Propaganda historisch keine neuen Phänomene, wohl aber die Schnelligkeit und Reichweite, mit der sie sich über Webseiten, soziale Medien und Messenger-Dienste verbreiten lassen. Ein interdisziplinäres Forscherteam aus Informatikern, Medienpsychologen, Journalisten und Juristen arbeitet unter Leitung des Fraunhofer SIT seit fünf Jahren an der wirksamen Bekämpfung – zunächst im Projekt DORIAN, aktuell im Nachfolgeprojekt DYNAMO. Eine Herausforderung: die Dynamik des Forschungsfeldes. Desinformationskampagnen resultieren aus aktuellen politischen Kontroversen. Auf die Flüchtlingskrise 2015/2016 und die Themen Migration, Integration und innere Sicherheit folgten Corona und aktuell der Ukraine-Krieg. Dabei verändern sich nicht nur die Akteure, die Desinformation verbreiten, sondern auch die Verbreitungskanäle. Wurden Fake News vor fünf Jahren noch fast ausschließlich über pseudo-journalistische Webseiten und soziale Medien an die Frau oder den Mann gebracht, gewannen im Laufe der Zeit zunehmend Messenger-Dienste an Bedeutung.

Um im Kampf gegen die Lügen erfolgreich zu sein, ist ein ganzes Bündel von Maßnahmen notwendig. Dazu gehören Programme zur Verbesserung der Medienkompetenz und politischen Bildung, gesetzliche Regulierungen, die Social-Media-Plattformen und Messenger-Dienste stärker in die Pflicht nehmen, und die Stärkung von hochwertigen, unabhängigen Medien und investigativem Journalismus. Journalistinnen und Journalisten kommt hier eine Schlüsselrolle zu. Sie sollen die Bevölkerung mit vertrauenswürdigen und faktengeprüften Inhalten versorgen und gleichzeitig gegen verbreitete Desinformationen mit fundierten Gegendarstellungen vorgehen – angesichts der täglichen Nachrichtenflut eine Herkulesaufgabe.

Prof. Martin Steinebach und sein Team am Fraunhofer SIT wollen sie dabei mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) unterstützen. Die Informatikerinnen und Informatiker entwickeln automatisierte Verfahren der Text-, Bild- und zunehmend auch Videoforensik, mit denen sich mögliche Fake News herausfiltern lassen. »Ob es sich bei einer Nachricht tatsächlich um eine Desinformation handelt oder nicht, muss der Mensch entscheiden. Wir identifizieren lediglich verdächtige Meldungen«, sagt Steinebach. Um Desinformation in Texten zu erkennen, füttern die Forschenden KI-Systeme mit einer großen Menge ►

Cyberangriffe  
auf Deutschland

**28 %**  
aus Russland

**12 %**  
aus China

**8 %**  
aus dem Iran

Quelle: Institut der  
deutschen Wirtschaft,  
Stand: Januar 2022

an Beispieldaten, aus denen die KI selbstständig lernt und Regeln ableitet (»Maschinelles Lernen«). Welche das sind, bleibt im Verborgenen. Selbst im Nachhinein lassen sie sich oft nur zum Teil oder gar nicht ermitteln. Sicher ist: Je besser und umfassender die Trainingsdaten der KI, desto besser das Ergebnis.

Steinebach fordert daher zusammen mit anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, große Plattformbetreiber wie Facebook oder Twitter dazu zu verpflichten, mit der Forschung zu kooperieren und relevante Daten zur Verfügung zu stellen. »Bisher gibt es hier keinerlei Bereitschaft, unsere Bemühungen blieben erfolglos.«

Trotzdem gelang es dem Team des Fraunhofer SIT, Desinformation in Texten mit einer hohen Trefferquote von rund 70 Prozent automatisiert zu identifizieren. Steinebach betont: »Für thematisch unterschiedliche Desinformationen zum Beispiel über Corona oder den Ukraine-Konflikt muss man natürlich immer wieder neue Netze trainieren. Das lässt sich nicht generalisieren.«

Noch erfolgreicher war das Fraunhofer SIT-Team bei der automatisierten Erkennung von manipulierten oder missbräuchlich verwendeten, aus ihrem ursprünglichen Kontext gerissenen Bildern. Letztere sind in Desinformationen klar dominant. »Wahrscheinlich, weil Bildmanipulationen relativ aufwendig sind und meist auch überflüssig. Ich muss ja nur ein passendes Bild im Web suchen, das geht viel schneller«, vermutet Steinebach. Inverse Bildersuchen, die Bilder wiedererkennen können, die bereits in anderen Zusammenhängen auftauchen, werden zwar heute schon von Google oder TinEye angeboten. Sie stoßen aber schnell an ihre Grenzen, wenn ein anderer Bildausschnitt gewählt, das Bild gespiegelt oder komprimiert wurde. Steinebach und seinem Team ist es gelungen, eine inverse Bildersuche zu entwickeln, die sich davon nicht beirren lässt und daher deutlich treffsicherer ist. Die Fehlerraten liegen unter einem Promille. Auch Bildmontagen erkennt das System zuverlässig.

### Deepfakes – eine neue mächtige Waffe im Informationskrieg

Im Unterschied zur Flüchtlingskrise oder Corona-Pandemie, spielen beim Ukraine-Krieg erstmals auch Deepfakes, also mithilfe von KI manipulierte Videos, in Desinformationskampagnen eine Rolle. Hohe Bekanntheit erreichte ein Deepfake, in dem

der ukrainische Präsident Wolodymyr Selenskyi die Kapitulation erklärt und die ukrainischen Truppen auffordert, die Waffen niederzulegen. Gekontert wurde es mit einem Deepfake, in dem der russische Präsident Wladimir Putin zum Frieden aufruft. Steinebach kommentiert: »Die waren noch nicht besonders gut gemacht. Beim Putin-Deepfake konnte man beispielsweise mit bloßem Auge erkennen, dass die Lippen immer wieder in die gleiche starre Ausgangsposition gebracht wurden, wenn er nicht sprach.« Er ist sich jedoch sicher, dass die Deepfakes im Laufe der Zeit zunehmend besser werden. Eine automatisierte Erkennung sei auch hier technisch möglich. Entlarvend sind vor allem Spuren, die der Deepfake-Algorithmus im Video hinterlässt.

### Teamwork ist gefragt

»Ich bin insgesamt begeistert davon, wie viel die Informatiker möglich machen«, sagt Prof. Katarina Bader. Die Kommunikationswissenschaftlerin und Journalistin, die an der Hochschule der Medien in Stuttgart Online-Journalismus, journalistische Darstellungsformen und Recherche lehrt, ist von Anfang an im interdisziplinären Forschungsteam dabei. Die entwickelten Tools seien wichtig, um den Redaktionen, die gerade in Zeiten von Krieg und Krisen unter Zeitdruck arbeiten, eine schnelle Überprüfung der Nachrichten zu ermöglichen. »Mit dem Ukraine-Krieg haben Desinformationen stark zugenommen. Der Informationskrieg tobt im Internet«, bestätigt Bader. »Videos spielen eine wichtige Rolle, insbesondere sogenannte Augenzeugenvideos. Ich bin mir sicher, dass auch immer mehr Deepfakes in den Redaktionen ankommen werden.« Neben einer automatisierten Erkennung hofft sie auf ein digitales Wasserzeichen, wie es das Fraunhofer SIT-Team bereits entwickelt hat und mit dem die Unversehrtheit und Echtheit von Videos in Zukunft standardmäßig sichergestellt werden könnte. »Das wäre eine enorme Erleichterung für die journalistische Arbeit«, so Bader. Die bereitgestellten Tools zur Fake-News-Erkennung müssten von den Informatikern kontinuierlich überarbeitet und aktualisiert werden, die Journalisten einen souveränen Umgang damit lernen und ein Verständnis für technische Manipulationsmöglichkeiten entwickeln. »In einer Zeit, in der die Wahrheit auf so vielen Ebenen und mit so vielen neuen Methoden angegriffen wird«, betont Bader, »wird die Zusammenarbeit immer wichtiger.« ■

# Wenn Quantencomputer angreifen

Verschlüsselungsverfahren sichern heute Bankzugänge, Ausweisdokumente, Smartcards und viele vertrauliche Informationen. Diese Sicherheit basiert auf Annahmen über die Schwierigkeit mathematischer Probleme. Doch was, wenn Quantencomputer diese Probleme bald in kürzester Zeit knacken könnten?

Von Mandy Bartel

**B**ei mathematischen Berechnungen haben Quantencomputer eine Art Inselbegabung: Um zwei einfache Zahlen zu multiplizieren, brauchen sie viel länger als normale Computer. Geht es aber um die Faktorisierung mehrstelliger Zahlen, sind sie in ihrem Element. So würde ein Quantenrechner wegen seiner parallelen Arbeitsweise höherstellige Zahlen viel schneller und effizienter zerlegen als herkömmliche Rechner. Das macht die Herausforderungen klar, die weitere Fortschritte im Quantencomputing mit sich bringen. Denn nahezu alle der heute eingesetzten kryptografischen Verfahren, von denen sich Nutzer noch Sicherheit für ihr Geld und ihre Identität versprechen, wären binnen Stunden zu knacken.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik BSI geht davon aus, dass es schon ab 2030 kryptografisch relevante Quantencomputer geben könnte. Durch die zunehmende Vernetzung sind dann immer mehr sicherheitskritische Anwendungen bedroht: Blockchain, das Internet of Things, Industrie 4.0. »Heutige auf Faktorisierung beruhende Public-Key-Verfahren, wie RSA-Verschlüsselungen, aber auch andere asymmetrische Signaturverfahren lassen sich in absehbarer Zeit mit dem Shor-Quantenalgorithmus brechen«, erklärt Prof. Daniel Loebenberger vom Fraunhofer Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC. »Auch symmetrische Verfahren sind durch Algorithmen wie Grover nicht mehr sicher, wenn auch durch größere Schlüssel nicht so leicht angreifbar. Zudem ließen sich mit Quantencomputern auch schon Teilschritte von Angriffen beschleunigen.«

## Hybride und agile Krypto-Lösungen

Deshalb arbeiten Forschende am Fraunhofer AISEC zusammen mit der Industrie und öffentlichen Stellen wie dem BSI an sogenannten Post-Quantum-Kryptografieverfahren (PQK), die weder traditionell noch von Quantencomputern brechbar sein sollen. Diese neuen Technologien dienen der sicheren Ver- und Entschlüsselung, sie müssen es aber auch erlauben, digitale Signaturen

einfach zu nutzen. »Die Forschung an neuen Verschlüsselungsverfahren ist ein stetiges Wechselspiel mit der sehr dynamischen Entwicklung von Quantencomputern. Darum müssen wir den Veränderungsprozess jetzt möglichst effizient gestalten und vor allem Produkte mit langer Lebensdauer wie Industrieanlagen quantensicher machen«, so der Sicherheitsexperte.



»Die Forschung an neuen Verschlüsselungsverfahren ist ein stetiges Wechselspiel mit der sehr dynamischen Entwicklung von Quantencomputern.«

Prof. Daniel Loebenberger, Fraunhofer AISEC

Die Herausforderung: Bisherige kryptografische Verfahren lassen sich wegen der völlig neuen algorithmischen Eigenschaften von PQC-Verfahren, wie etwa einem anderen Zeitverhalten, nicht ohne Weiteres austauschen. »Eine Ad-hoc-Umstellung wird kaum möglich sein, vielmehr wird es eher hybride Lösungen geben. In dem Zusammenhang ist auch die Kryptoagilität ein wichtiges Thema, also die Möglichkeit, kryptografische Verfahren schnell auszutauschen, weil mehrere Ansätze unterstützt werden. Nur so kann man auch auf noch unbekannte Bedrohungen reagieren und Systeme flexibel anpassen«, ist Loebenberger sicher.

Um Unternehmen und öffentliche Einrichtungen beim Umstieg auf quantenresistente kryptografische Verfahren zu unterstützen, hat das Fraunhofer AISEC das Kompetenzzentrum Post-Quanten-Kryptografie ins Leben gerufen. Neutral und herstellerunabhängig beraten die Expertinnen und Experten zur Kompatibilität mit existierenden Lösungen oder zu Kryptoagilität, führen Sicherheitsanalysen durch und bauen einen öffentlich zugänglichen Wissenspool zu Post-Quantum-Kryptografie auf. ■

## Interview

# »Cyber- sicherheit wird Dauer- aufgabe«

Er ist Deutschlands erster Digitalminister. Er will das Analoge abschaffen. Im Interview erklärt Dr. Volker Wissing, warum er das Risiko in Zeiten von Datenkriminalität eingeht – und wie er die Systeme resilienter machen will.

Interview: Josef Oskar Seitz

Cyberwar, Cyberkriminalität: Der dunkle Schatten steht hinter jedem digitalen Projekt. Volker Wissing, Bundesminister für Digitales und Verkehr, bleibt Optimist.

**Schön, Sie in 3D zu treffen, Herr Dr. Wissing. Und das zu einem Gespräch mit Deutschlands erstem Digitalminister – einem Mann, der das Analoge abschaffen will.**

Was ich damit meine: Wir müssen ambitioniert sein. Wenn wir weiterhin auf das Analoge setzen, rauben wir dem Digitalen einen Teil seiner Effizienz – und akzeptieren durch die Doppelstrukturen hohe Kosten. Es ist meine Aufgabe als Digitalminister, diesen Anspruch umzusetzen und die Gesellschaft auf diesem Weg mitzunehmen.

\_\_\_\_\_ **»Digital First. Bedenken Second«? So hatte es Ihre Partei schon einmal auf ein Wahlplakat geschrieben.**

Das ist ein Anspruch, den ich tatsächlich verinnerlicht habe. Wir müssen das Analoge überwinden und heraus aus den Strukturen, die wir gewohnt sind.

\_\_\_\_\_ **Sie wollen immer mehr Daten erheben, speichern und nutzbar machen – und das in einer Zeit, in der wir immer mehr Cyberkriminalität erleben und in der Ukraine einen Cyberwar kennenlernen?**

Jede politische Entscheidung ist ein Abwägungsprozess: Chancen versus Risiken. Daten sind die Grundlage für digitale Geschäftsmodelle und innovative Lösungen. Ein Verzicht auf Daten ist ein Verzicht auf Chancen. Ich bin auf der Seite der Optimisten und werde immer die Chancen der Digitalisierung in den Vordergrund rücken. Daten, die nicht erhoben werden, können zwar nicht missbraucht werden, sie können aber auch nicht genutzt werden. Das ist keine Option für die Zukunft.

\_\_\_\_\_ **Sie waren Staatsanwalt, Herr Wissing, übertragen wir es auf Ihr altes Fachgebiet: Nur wer kein Geld hat, kann nicht bestohlen werden – und doch hält es kaum jemand für erstrebenswert, nichts zu besitzen?**

Ähnliches gilt im Digitalen: Wir können nicht auf digitale Innovationen verzichten, weil es die Möglichkeit zum Datenmissbrauch gibt. Politik darf nicht dabei stehen bleiben, Probleme zu beschreiben, sie muss Lösungen erarbeiten. Es ist unsere Aufgabe, mit Regulierung den Missbrauch so weit wie irgend möglich auszuschließen. Auf europäischer Ebene sind wir da mit dem Digital Services Act in diesem Jahr einen großen Schritt vorangekommen.

**»Das Beispiel der Ukraine hat uns allen gezeigt, dass der Krieg heute auch im Netz geführt wird.«**

Dr. Volker Wissing

\_\_\_\_\_ **Das Prinzip lautet: Was außerhalb des Internets verboten ist, soll auch im Internet verboten bleiben. Kümmerst du dich um Kriminelle und Kriegsparteien?**

Cybersicherheit wird eine Daueraufgabe sein. Je stärker wir uns international mit befreundeten Staaten abstimmen, desto stärker werden wir gegen Angriffe gewappnet sein. Deshalb habe ich das auch beim G7-Gipfel der Digitalminister in Düsseldorf zum Thema gemacht. Wir müssen die Schwächen in der Cybersicherheit analysieren und uns darüber austauschen, wie wir unsere digitalen Systeme resilienter machen können. Wir brauchen eine neue Fehlerkultur, die Fehler als Aufforderung beziehungsweise Chance begreift, besser zu werden.

\_\_\_\_\_ **Konnten Sie beim Gipfel einen Konsens feststellen?**

Wir haben konkrete Angebote zur Zusammenarbeit bekommen. Der Digitalminister aus der Ukraine war zugeschaltet und hat angeboten, mit uns in einen Austausch über die Cyberwar-Erfahrungen seines Landes zu treten – sobald der Krieg zu Ende ist. Jetzt kann sein Land noch nicht offenlegen, was genau getan wird, um die russischen Angriffe abzuwehren. Das Beispiel der Ukraine hat uns allen gezeigt, dass der Krieg heute auch im Netz geführt wird.

\_\_\_\_\_ **Sie sprechen von Fehlern, von einer neuen Fehlerkultur.**

Jeder Cyberangriff sucht sich eine Schwachstelle. Wo eine Schwachstelle zu finden ist, hat jemand den Fehler begangen, sie nicht rechtzeitig zu schließen. An dem Punkt sind Lernen und Austausch entscheidend. Nur wenn wir international abgestimmt vorgehen, schöpfen wir das Lernpotenzial aus. Ich bin zuständig für die Netzsicherheit und die Resilienz des Netzes. ►



In der Eingangshalle des Bundesministeriums erklärt Hausherr Wissing die Geschichte des Baus, der 1878 für die Preußische Geologische Landesanstalt fertiggestellt wurde.



## 2016

### Mainzelmänner unter sich:

Fastnacht und die ZDF-Kultfigur sind für einen Politiker in Rheinland-Pfalz Pflicht. 2016 führte Volker Wissing die FDP als Spitzenkandidat zurück in den Landtag. Bis 2021 war er Minister für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau. Vor seiner Karriere als Politiker arbeitete Wissing als Staatsanwalt und Richter.



## 2019

### Der Minister für Weinbau weiß auch,

wie der Wein ins Glas kommt: Der Pfälzer hat ein Familien-Weingut und nennt den Anbau eine »sehr erdende Erfahrung«.



## 2020

### In Trier bestaunt

Wissing das Handwerk der Klavierbauer. Er selbst spielt die Orgel seit früher Jugend, absolvierte eine Ausbildung als Kirchenmusiker. Eines seiner Lieblingsstücke: Bachs Kantate BWV 26 »Ach wie flüchtig, ach wie nichtig ist der Menschen Leben...«.

Wenn wir die Gesellschaft immer stärker digitalisieren, müssen wir auch für mehr Sicherheit im digitalen Raum sorgen. Digitalisierung und die Stärkung der Cybersicherheit müssen Hand in Hand gehen.

### Wie digital sind Sie im eigenen Ministerium?

Selbstverständlich arbeiten wir auch im Ministerium an der Digitalisierung der Prozesse. Gleichzeitig haben wir aber auch mit sehr vielen analogen Aufgabenstellungen zu tun. Verkehrsinfrastruktur ist schon etwas sehr Handfestes. Wir wollen aber auch hier die Digitalisierung nutzen und zum Beispiel Sensortechnik in Brücken verbauen, um die Wartung digital zu steuern. Wir wollen unsere Verkehrssysteme digitalisieren und Mobilitätsdaten zur Verfügung stellen. Dafür haben wir den Mobility Data Space geschaffen, einen sicheren Raum, der einen gleichberechtigten Zugang zu Daten möglich macht und damit die Wertschöpfungspotenziale der Daten erschließt. Wir wollen auch im Ministerium die Chancen der Digitalisierung nutzen.

### Ein Einwand, Herr Minister: Die Kupferzeit ging zwar in den Geschichtsbüchern 2200 vor Christus zu Ende, in Deutschlands Datenwelt dauert sie mit Kupferkabeln noch im Jahr 2022 an. Wer bitte soll dieses Dauerproblem lösen?

Diese Aufgabe ist mir zu wichtig, um sie zu delegieren, darum kümmere ich mich persönlich und ich bin zuversichtlich, dass wir zu signifikanten Fortschritten kommen werden. Ich bin Optimist.

### Dann lassen Sie uns mit dem Optimisten Wissing ins Jahr 2030 springen. Wird dann die Hälfte der Haushalte in Deutschland ans Glasfasernetz angeschlossen sein?

Das wäre zu wenig.

### Fahren dann 15 Millionen Elektroautos auf deutschen Straßen?

Wir leben in einer Marktwirtschaft, da gibt es keine Automobilquoten.

### Aber die Zahl ist genannt.

Sie steht so im Koalitionsvertrag und ist Teil eines Konzeptes, die Klimaziele im Verkehrsbereich zu erreichen. Das verkehrspolitische Ziel ist aber weniger die Erreichung einer bestimmten Zahl von Elektrofahrzeugen, als vielmehr die Einhaltung der Klimaziele im Verkehrs-

sektor. Als Verkehrsminister will ich – auch gemeinsam mit der Automobilwirtschaft – eine Ladeinfrastruktur schaffen, die Elektromobilität attraktiv macht. Zugleich müssen die Unternehmen gute Mobilitätsangebote schaffen. Am Ende entscheiden aber die Bürgerinnen und Bürger über ihre Mobilität und nicht die Politik.

### Wie steht's mit dem autonomen Fahren?

Gerade haben wir im Bundesrat eine Verordnung durchgebracht, die Level 4 in ganz Deutschland möglich macht. Wir sind das erste Land der Welt, das diesen Schritt geht.

### Wann wird die Digitalstrategie kommen?

Diesen Sommer. Das wird ein Kraftakt, aber ein notwendiger.

### Ist es Hemmnis oder Hilfe, dass Sie Digitalminister sind, aber so viele Digitalbereiche in anderen Ministerien angedockt sind – die digitale Krankenakte bei Gesundheitsminister Lauterbach, digitale Impulse durch Start-ups bei Wirtschaftsminister Habeck...

Meine Aufgabe als Digitalminister ist es, Taktgeber für eine konsistente Digitalpolitik mit einem roten Faden zu sein. Digitalisierung ist eine Querschnittsaufgabe. Sie funktioniert, indem die Bundesregierung eine Gesamtstrategie entwickelt, sie gemeinsam im Kabinett beschließt und sich jedes Ressort verpflichtet, die festgeschriebenen Ziele zu erreichen. Da gibt es kein Hemmnis, wenn eine Regierung gut zusammenarbeitet.

### Jenseits aller Rivalitäten?

Ich nenne das nicht Rivalitäten, ich nenne das: konstruktive Zusammenarbeit. Diese besteht ja nicht darin, dass sich alle immer einig sind, sondern dass man um die beste Lösung ringt.

### Eine interessante Übersetzung. Steht so allerdings noch nicht im Synonym-Wörterbuch.

Am Ende werden wir uns an Ergebnissen messen lassen müssen, nicht an Momentaufnahmen und auch nicht an Absichtserklärungen.

### So viele Aufgaben, so viel Sicherheitsrelevantes, so viele Daten, die geschützt sein wollen. Und trotzdem ist dem Digital- und Verkehrsminister Wissing der Etat gekürzt worden – minus 13 Prozent auf 36 Milliarden Euro. Wie schwer trifft Sie das in einer Zeit, in der so vieles vorangebracht werden müsste?



»Wissenschaft und Forschung sind essenziell für unsere Suche nach den besten Lösungen für unser Land.«

Dr. Volker Wissing

Ein Bundeshaushalt ist kein Wunschkonzert. Er ist Resultat einer gesellschaftlich-politischen Abwägung unterschiedlicher Aufgaben. Natürlich wünscht man sich als Minister immer mehr Möglichkeiten für das eigene Ressort. Andererseits sehe ich selbstverständlich, dass es auch andere Politikfelder gibt, auf denen wir als Staat und Gesellschaft gefordert sind. Der Haushalt meines Ministeriums ist einer der größten Investitionshaushalte in der Bundesrepublik Deutschland. Übersetzt heißt das: Wir können vielleicht nicht alles, wir können aber sehr viel machen.

**Ihr Vorgänger im Amt hat jeden fünften Euro, den er für 2021 verwenden hätte können, nicht abgerufen und 5,1 Milliarden Euro liegengelassen. Was werden Sie besser machen?**

Wir wollen Planungen beschleunigen und setzen dabei auch konsequent auf digitale Techniken: Wir wollen Datenplattformen aufbauen und stärken, um die Infrastrukturprojekte voranzutreiben. Building Information Modelling ist das Stichwort: ein intelligentes Cloud-Modell zur vernetzten Zusammenarbeit.

**Womit kann Ihnen Forschung behilflich sein?**

Mit echten Innovationen. Die brauchen wir dringend, um Lücken zu schließen für die Mobilität und die CO<sub>2</sub>-Neutralität der Zukunft. Und wir brauchen die Wissenschaft, um Fehler zu vermeiden. Wissenschaft und Forschung sind essenziell für unsere Suche nach den besten Lösungen für unser Land.

**Das »Handelsblatt« hat Ihre Aufgabenvielfalt schon übertitelt: »Mission impossible«. Macht Ihnen das Angst?**

Die Vielfalt der Aufgaben für dieses Haus ist eine Herausforderung. Man bewältigt Herausforderungen aber nicht, indem man sie fürchtet, sondern indem man sie sorgfältig analysiert und dann konsequent angeht.

**Und Sie haben auch noch Freude dabei?**

Politik ist die Chance, in der Gesellschaft etwas zum Besseren zu bewegen. Das ist natürlich mit einer sehr großen Verantwortung und einem enormen Vertrauensvorschuss seitens der Gesellschaft verbunden. Es ist Aufgabe eines jeden Politikers, sich dessen würdig zu erweisen.

**Apropos Wahrheit des Lebens: Bei den Digital-Rankings steht Deutschland stets auf den unteren Plätzen.**

Wir sind ein eigenes Land mit einer eigenen Geschichte, einer eigenen geografischen Lage, einer eigenen, föderalen Struktur und damit ganz eigenen Herausforderungen. Internationale Vergleiche sind wichtig, um eigene Defizite zu analysieren und Verbesserungspotenziale zu erkennen, wichtig ist aber auch, nationale Besonderheiten nicht aus dem Blick zu verlieren. Es ist aber unbestritten, dass wir besser sein könnten und besser werden müssen. Dies anzugehen und jeden Tag daran zu arbeiten, dass wir etwas besser werden, das ist es, was mich antreibt. Wir haben die Chance, unsere Zukunft, unser Land besser und lebenswerter zu gestalten. Nutzen wir sie. ■



## 2021

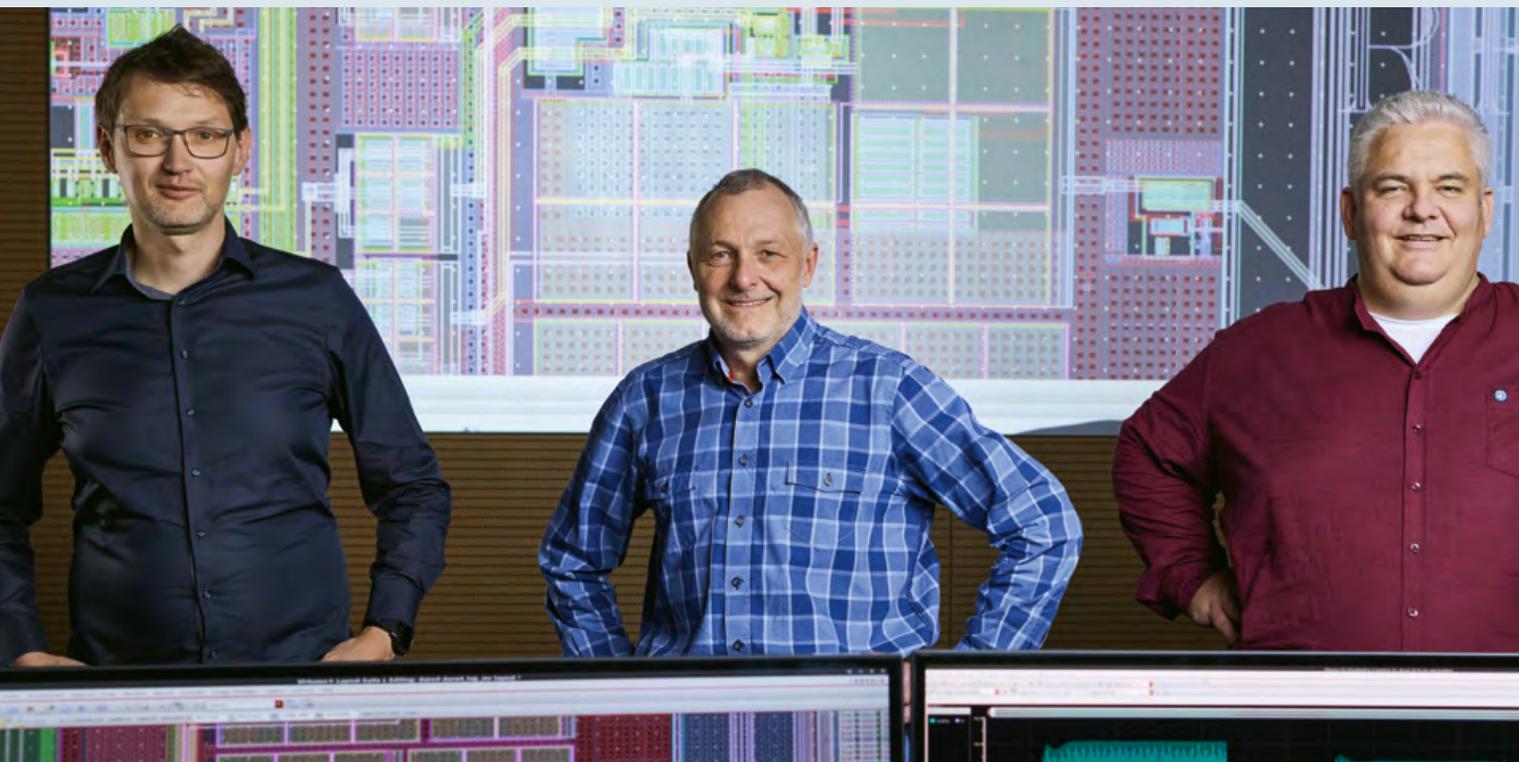
### Vorgänger und Nachfolger

Von Andreas Scheuer übernimmt Volker Wissing am 8. Dezember das Ministerium. Bei der offiziellen Übergabe spricht der scheidende Minister »fast 20 Minuten über sich selbst«, berichtet der »Spiegel«. Wissing revanchiert sich, als er eine Hinterlassenschaft Scheuers in seinem Büro öffentlich macht: eine Badehose der Berliner Verkehrsbetriebe.



## 2022

Als »Brotbotschafter« kürte das Land Rheinland-Pfalz Volker Wissing. Die Leidenschaft ist echt. Auch zum Abschluss des Interviews schwärmt der Minister vom selbstgebackenen Brot und zeigt Handyfotos seiner Back-Kunstwerke.



Die Gewinner des Joseph-von-Fraunhofer-Preises für den energiesparenden Chip: Dr. Markus Eppel, Dr. Frank Oehler und Dr. Heinrich Milosiu (v.l.n.r.).

## Jederzeit empfangsbereit

# Mit RFicient<sup>®</sup>-Chip nachhaltig ins Internet der Dinge

99 Prozent des Stroms sparen: Der RFicient<sup>®</sup>-Chip aus dem Fraunhofer IIS bringt das Internet der Dinge und die Nachhaltigkeit einen riesigen Schritt voran. Klar, dass es dafür den Joseph-von-Fraunhofer-Preis gibt.

Von Dr. Janine van Ackeren

**M**ülltonnen, die über einen eingebauten Füllstandsensoren selbst merken, wenn sie geleert werden müssen – und dies an die Müllabfuhr melden? Kühlschränke, die den Einkaufszettel zusammenstellen und ans Smartphone des Besitzers schicken? Dies sind nur zwei plakative Beispiele für das Internet der Dinge, kurz IoT: Gegenstände, die sich mit dem Internet verbinden und untereinander Daten austauschen. Während intelligente Kühlschränke und Mülltonnen noch Zukunftsmusik sind, hält das Internet der Dinge

in anderen Bereichen bereits verstärkt Einzug: Die Anzahl der drahtlos vernetzten Geräte steigt rapide an, sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich. Die Herausforderung: Um ständig erreichbar zu sein, muss der Funkempfänger der Geräte dauerhaft eingeschaltet sein – was die Batterielebensdauer bei kleinen, batteriebetriebenen IoT-Knoten auf wenige Wochen begrenzt.

Einen gigantischen Sprung nach vorne erlaubt der RFicient<sup>®</sup>-Chip des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS. »Mit unserem Chip können wir 99

# Forschungs- preise

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

Prozent des Stroms einsparen – eine Batterie, die mit herkömmlicher Technologie gut einen Monat schafft, hält dann zehn Jahre«, begeistert sich Dr. Frank Oehler. Dennoch, und das macht den Charme der Entwicklung aus, ist der Sensorknoten jederzeit empfangsbereit: Er braucht gerade mal 30 Millisekunden, um auf ein Signal mit einer Aktion zu reagieren. Für diese marktreife Entwicklung samt der Anmeldung von 16 Patentfamilien werden Dr. Frank Oehler, Dr. Heinrich Milosiu und Dr. Markus Eppel mit dem Josephvon-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Stellvertretend für das gesamte Team, versteht sich. Neben der vollständigen Prozesskette von der Idee bis zur Umsetzung war es vor allem die besondere gesellschaftliche Relevanz, die die Jury überzeugte: Schließlich schießt die Anzahl der drahtlos vernetzten Geräte in die Höhe, samt dem damit verbundenen Energieverbrauch.

## RFicient® hält Wache

»Unser Anreiz war: Strom runter und dennoch ständig empfangen«, schmunzelt Milosiu. Um dies zu realisieren, erweitert das Team herkömmliche Sensorknoten – bestehend aus Sensor, Mikrocontroller, Speicher, Stromversorgung, Funkmodul und Aktoren – um ihren Wake-up-Receiver. »Durch den RFicient®-Chip lassen sich all diese Elemente in den tiefsten Schlafmodus versetzen, sie brauchen also keinen nen-

nenswerten Strom. Der Chip dagegen schiebt Wache: Er ist stets empfangsbereit für Signale von Nachbarknoten, einem Gateway oder der Basisstation. Dafür braucht er nur drei Mikroampere Strom«, betont Dr. Eppel. Dazu kommt: All das stemmt er in Echtzeit. Während andere Wake-up-Receiver oft minutenlang ausgeschaltet sind und mitunter erst dann reagieren, wenn es zu spät ist, ist beim RFicient®-Chip eine umgehende Reaktion garantiert. Wichtig ist dies nicht nur bei zeitkritischen Anwendungen, sondern auch dort, wo viele Dienste gleichzeitig ablaufen – etwa im Flughafen, im Bahnhof oder im Fußballstadion – oder wo viele einzelne Knoten abgefragt werden.

Die RFicient®-Technologie hat sich bereits von der ersten Idee zu einem kommerziell erhältlichen Standard-Chip gemausert, auch entsprechende Industriepartner sind gewonnen. So übernimmt der US-amerikanische Halbleiterhersteller Globalfoundries Inc. die Herstellung der 1,3 mal 1,3 Millimeter großen Chips, die RoodMicrotec GmbH wiederum baut die Kunststoffgehäuse und kontrolliert die Qualität. Um den weltweiten Vertrieb kümmert sich die EBV Elektronik GmbH & Co. KG. »Was die Industrie braucht, sind IoT-Empfänger, die immer erreichbar sind, schnell reagieren – und auch über lange Zeit hinweg wartungsfrei arbeiten. Mit den neuen Fraunhofer-Empfängern können wir das erstmalig liefern«, ist Thomas Staudinger, Präsident der EBV Elektronik GmbH, überzeugt. Auch Oehler zeigt sich begeistert über das Industrie-Inte-

Konservativ geschätzt  
werden in den nächsten  
Jahren über

# 50 Mio.

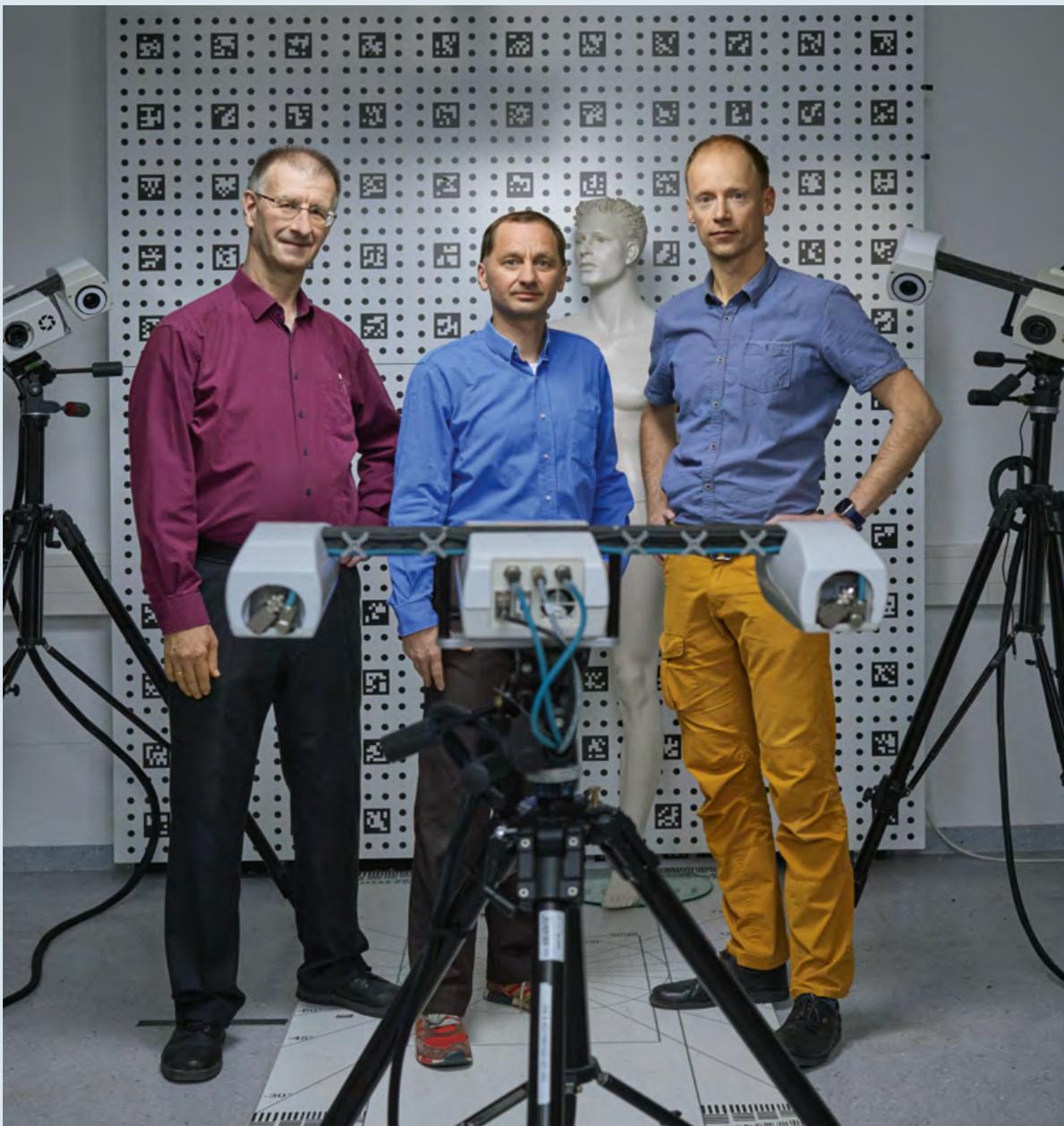
IoT-Geräte von der RFicient®-  
Technologie profitieren.

resse: »Wir sind mit über 100 Anfragen aus verschiedenen Anwendungsbereichen befeuert worden: Unsere Kunden stehen bereits in den Startlöchern, um ihre neuen Produkte mit RFicient® auszustatten.« Konservativ geschätzt werden in den nächsten Jahren über 50 Millionen IoT-Geräte von der RFicient®-Technologie profitieren. Mit ihrer Entwicklung haben die Forscher den Nerv der Zeit also gleich in zweifacher Hinsicht getroffen: Sie eröffnen dem Internet der Dinge einen enormen Spielraum und bringen gleichzeitig die Nachhaltigkeit voran. ■

## Einzigartige Messtechnik

# 3D-basierte Lagekontrolle in der Strahlentherapie

Neue Hoffnung im Kampf gegen den König der Krankheiten: Ein neuartiges System zur Strahlenbehandlung von Tumoren verbessert die Heilungschancen bei Krebs. Das ist einen Joseph-von-Fraunhofer-Preis wert.



Das erfolgreiche Team vom Fraunhofer IOF: Dr. Peter Kühmstedt, Matthias Heinze und Dr.-Ing. Christoph Munkelt (v.l.n.r.).

**D**ie Entwicklung war ein Drahtseilakt an der Grenze des technisch Machbaren«, erinnert sich Dr. Peter Kühmstedt, Leiter der Abteilung Bildgebung und Sensorik am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, »an deren Ende nun sogar eine industrielle Lösung steht.« Er spricht von einem neuartigen System, mit dem sich die Position von Patientinnen und Patienten sowohl vor als auch während einer Bestrahlungstherapie kontinuierlich überwachen lässt. Die Chancen auf eine erfolgreiche Behandlung und damit verbundene Heilung werden dadurch merklich gesteigert. Sprich: ein elementarer Beitrag zu einer schonenderen und gleichzeitig effektiveren Krebstherapie. Für das produktionsreife Gesamtsystem, entwickelt mit dem Industriepartner Varian Medical Systems, erhalten Dr. Peter Kühmstedt, Dr.-Ing. Christoph Munkelt und Matthias Heinze vom Fraunhofer IOF den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2022. Wichtig war der Jury vor allem die Erleichterung für die erkrankte Person, die sich der Behandlung unterzieht.

Für die Therapie von Tumoren machen sich Medizinerinnen und Mediziner die zerstörende Kraft der Strahlen zunutze: Mit ihr lassen sich die Tumorzellen gezielt abtöten und krebserkrankte Menschen in die Heilung führen. Elementar ist, die Tumorregion vollständig zu treffen und das gesunde Gewebe gleichzeitig möglichst zu schonen – eine Präzision, von der der Behandlungserfolg maßgeblich abhängt. Das medizinische Personal erstellt daher vorab über die strahlenbasierte Computertomographie ein genaues Bild des Tumors und plant anhand dieser Aufnahmen die Behandlung. Steht einige Tage später die eigentliche Bestrahlung an, muss der Patient exakt so positioniert werden wie bei der Erstuntersuchung. Auch darf sich die Lage während der Therapie nicht verändern.

### **Hochfrequente Bildrate und auf weniger als einen halben Millimeter genau**

Hier kommt die preisgekrönte Entwicklung ins Spiel: Mit ihr lässt sich die Position von Patientinnen und Patienten im Verlauf der Behandlung kontinuierlich überwachen. »Das System bildet den Behandelten vor und während der Bestrahlung mit einer Genauigkeit von weniger als einem halben Millimeter und einer hochfrequenten Bildrate dreidimensional ab – das ist einzigartig«, betont Munkelt. »Dies ermöglicht, die optimale Ausrichtung der Strahlen unter minimaler zusätzlicher Strahlenbelastung durch bildgebende Röntgensysteme zu überwachen. Optische Systeme erlauben zudem eine genaue Kontrolle der Patienten-

position bei hochdosierter Bestrahlung mit wenigen Therapiesitzungen. Die Therapien sind sehr effektiv und reduzieren auch die körperlichen und psychischen Belastungen.« Bereits bei der ersten Untersuchung via Computertomographie projiziert ein optischer Sensor ein veränderliches, für das menschliche Auge unsichtbares Infrarot-Muster auf den Körper, das von zwei Kameras erfasst wird. Die aufgrund der Erkrankung bereits emotional vorbelasteten Patientinnen und Patienten werden durch das Licht damit nicht zusätzlich irritiert – ein weiterer Pluspunkt. Anhand der Bilder ermittelt das System ein 3D-Modell, mit dem sich die relevanten Körperbereiche – ein bestrahltes Körperareal in der Größe von etwa 30 x 30 Zentimetern – später wieder exakt so positionieren lassen wie bei der Voruntersuchung.

Ein weiterer Vorteil: Bewegt sich die Person während der Bestrahlung, etwa weil sie stark atmet oder Ausgleichsbewegungen macht, ändert sich auch die bestrahlte Körperregion. Hier sorgt das System ebenfalls für mehr Sicherheit: Ändert sich die Lage des Patienten, registriert das System dies umgehend und schaltet die Bestrahlung sicherheitshalber aus. Perspektivisch können kleinere Lageveränderungen z. B. infolge der Atmung adaptiert und die Bestrahlung live nachgeführt werden. Auch herausforderndere Bestrahlungsarten von örtlich schwer verfolgbaren Tumoren, etwa im Bereich des Unterleibs, dürften zukünftig in den Bereich des Möglichen rutschen.

### **Kaum möglich? Von wegen ...!**

Für diese Entwicklung musste das Forschungsteam zahlreiche Herausforderungen meistern. Im messtechnischen Bereich beispielsweise galt es, die Daten kontinuierlich mit hoher Frequenz abzutasten, damit die Atembewegung richtig erfasst werden kann, und mit gesicherter Latenz von unter 100 Millisekunden zu übertragen. Diese Messfrequenz mit dem großen Messbereich eines gesamten menschlichen Körpers zu vereinen, schien zunächst kaum möglich. Gestemmt werden konnte dies nur durch das interdisziplinäre Team von Optik-, Informatik-, Physik- und Technik-Fachleuten aus drei Ländern: der Schweiz, Ungarn und Deutschland. »Der Kern der Entwicklung lag darin, das gesamte Paket als Methodik in eine industrielle Lösung zu überführen und als Sensornetzwerk auszugestalten«, verdeutlicht Heinze. Langfristig, so die Erwartung des weltweit agierenden Kooperationsunternehmens Varian Medical Systems, wird das neuartige System zur Patientenlageüberwachung global weit verbreitet sein. ■

»Das System bildet den Behandelten vor und während der Bestrahlung mit einer Genauigkeit von weniger als einem halben Millimeter und einer hochfrequenten Bildrate dreidimensional ab – das ist einzigartig.«

Dr.-Ing. Christoph Munkelt

## Neue Präzisionsmethode

# Fluoreszenz-Messtechnik zur Qualitätssicherung in der Produktion

Ein Forscherteam des Fraunhofer IPM entlockt der Fluoreszenzspektroskopie erstmals quantitative Messwerte mit hoher Ortsauflösung – und zwar für die Qualitätssicherung in der industriellen Produktion. Dafür wird es mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis gekürt.

Isst der Geldschein echt – oder handelt es sich um eine »Blüte«? Fluoreszierende Partikel auf den Scheinen, die bei der Bestrahlung mit UV-Licht leuchten, helfen bei der Echtheitskontrolle. Auch in der Biologie und Medizin ist die Fluoreszenz eine etablierte Methode, um Biomoleküle zu markieren und ihren Weg zu verfolgen. Solche qualitativen Aussagen werden üblicherweise mithilfe der Fluoreszenz gewonnen. Bisher galt sie jedoch eher als Schätzweisen denn als zuverlässiges, quantitatives Messverfahren: Die Kalibrierung dieses Verfahrens erfordert nicht nur sehr präzise Referenzverfahren, sondern auch vertiefte Kenntnisse über die Einflüsse, die die Fluoreszenzstrahlung beeinflussen. »Wir konnten aus dem Schätzweisen eine Präzisionsmessmethode mit extremer Geschwindigkeit und hoher Robustheit entwickeln«, erläutert Dr. Albrecht Brandenburg vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM. Die Welt scheint darauf gewartet zu haben: Die Technologie verbreitet sich national wie international sehr schnell, die Umsätze beim Fraunhofer IPM erreichen für dieses Gebiet schon jetzt Millionenhöhe. Für ihre Entwicklung werden Dr. Albrecht Brandenburg und Dr. Alexander Blättermann mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Die Jury begründet ihre Entscheidung mit der hohen technischen Leistung und dem wirtschaftlich messbaren Vorteil für die anwendenden Unternehmen.

### Chancen für die Produktion

Die Technologie ist nicht nur präzise, sondern auch inlinefähig. »Mit unserer Technologie lassen sich komplexe 3D-Bauteile erstmals im Fertigungstakt

prüfen, sprich im Sekundentakt. Und das zu hundert Prozent auch unter rauesten Fertigungsbedingungen«, sagt Brandenburg, der seit über 30 Jahren am Fraunhofer IPM forscht. Er war es auch, der die Idee hatte, die bildgebende Fluoreszenzmesstechnik für die Bauteilprüfung zu nutzen – vor allem, um Verunreinigungen durch Öl oder Schmutz auf die Spur zu kommen. Elementar sind solche Informationen vor allem dort, wo es um die Sicherheit geht, etwa beim Verkleben von Pkw-Bauteilen. Für die Messung tastet ein kurzweiliger Laserstrahl die Bauteiloberfläche ab und regt die organischen Verunreinigungen zu einem langwelligen Leuchten an. Dieses Fluoreszenzlicht wird vom Laserscanner eingefangen, zu quantitativen Messdaten umgewandelt sowie zu einem Bild zusammengesetzt: Egal ob bei einem meterlangen Blech oder einem winzigen Elektrobauteil. »Die erzielten Leistungsdaten sind spektakulär: Wir können 40 Millionen Punkte in der Sekunde messen und dabei Verunreinigungen von einem Milligramm pro Quadratmeter nachweisen, ab zehn Milligramm werden quantitative Messungen möglich«, begeistert sich Blättermann, der das Inlinesystem entwickelt und in Betrieb genommen hat. »Damit wird die Fluoreszenzmesstechnik zur Qualitätskontrolle und Prozessregelung salonfähig.«

Möglich wurde dies durch ein Zusammenspiel mehrerer Innovationen: Zum einen nutzen die Forscher schnell bewegte Laserstrahlung, um die Verunreinigungen zur Fluoreszenz anzuregen. Auf diese Weise ist die Anregung nicht nur sehr intensiv, was die Messung empfindlich macht, sondern auch sehr präzise bezüglich der räumlichen Abtastung. Es entstehen hoch aufgelöste Bilder von Beschichtungen

»Mit unserer Technologie lassen sich komplexe 3D-Bauteile erstmals im Fertigungstakt prüfen, sprich im Sekundentakt.«

Dr. Albrecht Brandenburg

und Verunreinigungen mit hoher Tiefenschärfe. Wichtig ist außerdem eine extrem lichtstarke optische Detektion, der kaum ein Photon entgeht – anders wäre die sehr schwache Fluoreszenzstrahlung nicht detektierbar. Als Referenz für die Kalibrierung setzen die Forschenden auf eine Präzisionswägung. Die Fluoreszenzstrahlung nimmt linear mit der Menge der Verunreinigung zu: Je mehr Öl oder Schmutz, desto stärker das Leuchten. »Und schließlich ermöglicht eine mittlerweile von uns patentierte Kombination mit einer Infrarot-Reflexions-Analytik die quantitative Erfassung unbekannter Stoffgemische auf schnell bewegten Blechen«, ergänzt Blättermann.

### Weltweit gefragt

Ein Kunde erster Stunde ist die Robert Bosch GmbH: »Mit dem neuen Fraunhofer-Verfahren können wir geringste Verunreinigungen auf den Oberflächen erkennen und die Qualität und damit die Sicherheit von Klebeverbindungen von elektronischen Steuergeräten erhöhen«, sagt Dr. Heiko Elsinger, Verfahrensentwickler im Bosch-Geschäftsbereich Automotive Electronics. »Das verbessert die Betriebssicherheit, sorgt für schnellere Prozesse und trägt zu einer nachhaltigen Produktion bei.« Ebenso werden im Automobilbau bei der Umformung von Blechen zu dreidimensionalen Bauteilen sowohl zu geringe als auch zu starke Beschichtungen mit Umformölen zuverlässig erkannt. Diese Fehler können beim Umformen Risse oder ungewünschte Verformungen verursachen – und somit die Teile unbrauchbar machen. Mittlerweile setzen viele Unternehmen auf die Technologie: Das Team um Brandenburg und Blättermann hat seit 2015 für rund 3,5 Millionen Euro Industrieaufträge eingeworben, bei zwanzig Kunden in fünf Ländern. »Praktisch wöchentlich unterschreibe ich nun Angebote für Fluoreszenz-Inspektionsgeräte in unterschiedlichen Ausführungen – in Deutschland und der ganzen Welt. Tendenz stark steigend«, freut sich Prof. Karsten Buse, Leiter des Fraunhofer IPM. Sie spricht sich schnell rum, die Fraunhofer-Kompetenz. ■



Die innovative Technologie ermöglicht es, Verunreinigungen durch Öl oder Schmutz auf die Spur zu kommen. Entwickelt wurde sie von Dr. Alexander Blättermann (links) und Dr.-Ing. Albrecht Brandenburg.

# Desinfektion von Saatgut Sicher und nachhaltig durch Elektronenbehandlung

Pilzen, Viren und Bakterien auf Saatgut geht es künftig per Elektronenbehandlung an den Kragen: umweltschonend, nachhaltig und wirtschaftlich. Ein guter Grund, das junge Unternehmen E-VITA GmbH mit dem Fraunhofer Gründerpreis 2022 auszuzeichnen.



Sorgen für chemiefreies Saatgut: André Weidauer (links) und Christian Süß.

**G**eerntetes Saatgut einfach aufs Feld bringen? Keine gute Idee! Denn auf der Schale des Saatguts tummeln sich Pilze, Viren und Bakterien, die die Erträge drastisch senken würden. Saatguthersteller rücken diesen Erregern daher mit chemischen Beizmitteln zu Leibe. Doch das hat seine Nachteile: Da das Beizmittel am Saatgut haften bleibt, hantiert der Landwirt beim Ausbringen der Saat mit potenziell gefährlichen Stoffen, die ihm, der Natur und dem Boden schaden können. Auflagen sollen die Gefahr für die Umwelt eindämmen: In Grundwasserschutzgebieten ist gebeiztes Saatgut tabu, auch darf es nicht bei stärkerem Wind ausgebracht werden, da der Beizstaub mit Wirkstoff weggetrieben werden kann, Saatgut-Reste gelten als Sondermüll. Zudem wurden zahlreiche fungizide Beizmittel bereits verboten: Die Zahl der verfügbaren Produktgruppen ist in den letzten Jahren vor allem bei Insektiziden und Fungiziden drastisch gesunken. Von vormals über 20 Wirkstoffgruppen bei den Fungiziden sind nur noch wenige übrig geblieben. Doch gänzlich ohne geht's nicht – der Einsatz der verbleibenden Beizmittel wird daher Jahr für Jahr per Notfall- und Sonderzulassungen erneut genehmigt.

### Chemiefrei, nachhaltig und erprobt

Die Firma E-VITA GmbH, ein Joint Venture des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP und der Ceravis AG, dürfte diesem Prozedere bald ein Ende bereiten: Statt Pilze und Co. auf dem Saatgut mit Beizmitteln zu beseitigen, setzt sie auf beschleunigte Elektronen – und schafft damit eine chemiefreie, nachhaltige, erprobte und wirtschaftliche Alternative. Den unmittelbaren gesellschaftlichen Nutzen sahen auch Fraunhofer Venture und der High-Tech Gründerfonds und verliehen dem jungen Unternehmen den Fraunhofer Gründerpreis.

Das Prinzip der Elektronenbehandlung ist schnell erklärt: Das Saatgut wird mit energiereichen Elektronen »beschossen«, wobei die Schadorganismen effektiv abgetötet werden – das Innere des Saatkorns samt Embryo und Endosperm bleibt vollkommen intakt. »Das Ergebnis ist sauberes Saatgut, das keinerlei schädliche Stoffe enthält, keine Toxine an Mensch oder Umwelt abgeben und bei Wind sowie in Wasserschutzgebieten ausgebracht werden kann – ja, es darf sogar verfüttert werden«, begeistert sich André Weidauer, Geschäftsführer der E-VITA GmbH. Auch müssen die Landwirte für elektronenbehandeltes Saatgut nicht tiefer in die Tasche greifen als für gebeiztes. »Die Landwirte haben somit eine starke Motivation,

E-VITA-Saatgut zu kaufen: Sie erhalten nachhaltiges Saatgut in besserer Qualität zum gleichen Preis«, fasst Weidauer zusammen.

Neu ist das Verfahren nicht: Bereits in den 1980er-Jahren startete das Forschungsinstitut Manfred von Ardenne mit der Grundlagenerprobung der Elektronenbehandlung von Saatgut, das Fraunhofer FEP führte diese Voruntersuchungen mit vier großen Pilotanlagen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien zur industriellen Reife. »Die Frage war: Wie geht es für eine solche Technologie nun weiter?«, erinnert sich der Unternehmensgründer. »Der große Durchbruch gelang durch zwei Entwicklungen: Der erste Clou lag darin, das vollautomatisierte stationäre System der Großanlagen in eine mobile Anlage zu überführen. Diese befindet sich auf einem Lkw in einem 40-Fuß-Container, wird von uns samt fachkundigem Personal vermietet und kann 25 Tonnen Saatgut pro Stunde aufbereiten.« Der zweite, wichtigere Part: Den Forschern des Fraunhofer FEP gelang es, die Elektronenquelle deutlich kleiner zu gestalten – sie legten damit die Basis für Anlagen, die auch bei einem geringeren Durchsatz von acht Tonnen pro Stunde wirtschaftlich sind. »Das war der Meilenstein, auf dem wir die Ausgründung E-VITA gebaut haben«, freut sich Weidauer. Mitte 2022 möchte E-VITA den Piloten einer solchen Kleinanlage fertigstellen, der in einem 20-Fuß-Container Platz findet. Langfristig möchte das junge Unternehmen mit den Kleinanlagen einen Marktanteil von bis zu 50 Prozent ergattern – zunächst deutschland-, dann auch europaweit.

### Hohe Erträge auch bei Wassermangel

Auch den Herausforderungen Wassermangel und Reduktion des Düngemittels, das Pflanzen mit Nitraten und Phosphaten versorgt, möchte E-VITA wirkungsvoll begegnen: Dafür wird das elektronenbehandelte Saatgut zusätzlich mit natürlich vorkommenden Mikroorganismen versehen, die unter den – dank vorhergehender Elektronenbehandlung – sauberen Oberflächen optimale Wachstumsbedingungen finden und so bei der Wasser- und Nitrataufnahme helfen. Kurzum: Die Mikroorganismen erhöhen die Erträge, verbessern die Nährstoffeffizienz und bieten einen lang anhaltenden Schutz für die Saat. Das E-VITA-Saatgut hilft somit dabei, die Vorgaben des EU-Green-Deal zu erfüllen und leistet einen Beitrag, um die Farm2Fork-Ziele umzusetzen. »In dem Moment, wo unsere kleinen Anlagen marktverfügbar sind«, so ist sich Weidauer sicher, »gibt es keinerlei Gründe mehr, die Notfall-Zulassungen für die umweltschädlichen Beizmittel aufrechtzuerhalten.« ■

Langfristig möchte das junge Unternehmen mit den Kleinanlagen einen Marktanteil von bis zu

# 50 %

ergattern – zunächst deutschland-, dann auch europaweit.

## Nahezu reibungslos

# Virtuelle Materialsonde bringt Licht in den Reibspalt

Laufen Kraftwerke störungsfrei oder sind Fahrzeuge energieeffizient unterwegs? Das bestimmen oftmals wenige Atome. Eine virtuelle Materialsonde macht tribologische Prozesse erstmals auf atomarer Skala sichtbar – und somit steuerbar. Dafür gibt's den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2022.

**D**iamant ist hart. So hart, dass man ihn gerne dort einsetzt, wo viel Verschleiß auftritt: etwa an Gleitringdichtungen in Pumpen oder Kompressoren. Das kristalline Material schützt die Komponenten, die gegeneinander reiben, lässt sie gut aufeinander gleiten und sorgt somit für eine hohe Lebensdauer. Allerdings kann es zu starken Reibwertschwankungen kommen, in seltenen Fällen gar zum Ausfall der Anlagen, was Schäden in Millionenhöhe hervorrufen kann. Auch in einem kanadischen Kraftwerk schossen die Reibungswerte an den Gleitringdichtungen unerklärlicherweise in die Höhe. Bislang war jedoch weder bekannt, wodurch solch hohe Reibwerte entstehen, noch welche Voraussetzungen es braucht, um die Reibung konstant auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Ein Forscherteam hat dem Mysterium Diamantreibung nun seine Geheimnisse entlockt: mit einer virtuellen Materialsonde, die Simulationen auf mehreren Größenskalen mit realen Experimenten kombiniert und während des Gleitens quasi in den Reibspalt »hineinsehen« kann – was weltweit einzigartig ist. Für die Entwicklung dieser Sonde erhalten Prof. Michael Moseler und Prof. Matthias Scherge vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2022. Als Dritter im Bunde wird Dr.-Ing. Joachim Otschik von der EagleBurgmann Germany GmbH & Co. ausgezeichnet. Insbesondere die lang-

jährige gemeinsame Forschungsarbeit des Trios, die die Entwicklung der Sonde begleitete und zum Verständnis der Reibungsphänomene in den Gleitringdichtungen führte, konnte die Jury überzeugen.

### Die virtuelle Materialsonde bringt Licht ins Dunkel

Hilfreich ist die virtuelle Materialsonde überall dort, wo zwei Körper gegeneinander reiben und durch einen atomar dünnen Flüssigkeitsfilm geschmiert werden – sei es in Komponenten für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft, im Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen oder in den Verdichtern von Wärmepumpen. »Über Experimente allein können wir weder die tatsächliche Kontaktfläche messen noch die Reibungseffekte beziehungsweise den Einfluss des hauchdünnen Schmierfilms verstehen – im tribologischen Kontakt ist es quasi dunkel«, erläutert Scherge. Auf der Suche nach jemandem, der seinen Ingenieurbaukasten um Simulationen erweitert und somit Licht in dieses Dunkel bringt, stieß er vor über zehn Jahren auf Michael Moseler

Die virtuelle Materialsonde wird die Welt der Reibungsprozesse nachhaltig verändern.

am Fraunhofer IWM. Der gewünschte Schulterschluss zwischen Experiment und Simulation ist gelungen: Scherge identifiziert in einem Mikro-Tribometer, also einem auf wenige Quadratzentimeter geschrumpften Prüfstand, die kritischen Reibstellen. Diese wiederum schaut sich Moseler mittels Multiskalen-Material-Mo-



dellierung genauer an: »Wir können mithilfe physikalischer Grundgleichungen von der Millimeterskala auf die atomare Skala zoomen, im Extremfall sogar auf die quantenmechanische Ebene der Elektronen, um die Bindungsverhältnisse im Reibspalt zu verstehen.« Der Blick hinunter bis auf die Atomebene ist keineswegs eine Spielerei: Schließlich kann bereits eine relativ kleine Anzahl von den »richtigen« oder »falschen« Atomen auf einer Bauteiloberfläche den Unterschied machen, ob eine Dichtung wunderbar läuft oder infolge hoher Reibung und Verschleiß versagt. Möglich war die Entwicklung der virtuellen Materialsonde jedoch nur durch die Zusammenarbeit mit der Industrie: Seit mehr als 15 Jahren ist auch EagleBurgmann mit von der Partie. »Der lange Atem hat sich gelohnt. Die Synergie zwischen dem Fraunhofer IWM und uns ist einmalig, sie wächst und nimmt zunehmend mehr Fahrt auf«, sagt Otschik. »Das breite und tiefe Verständnis der Kollegen hat absolutes Weltniveau.«

Tatsächlich konnte die virtuelle Materialsonde bereits viel Licht in den dunklen Reibspalt bringen. Etwa im kanadischen Kraftwerk: Ändert sich die Drehrichtung, steht die Gleitringdichtung für einen winzigen Moment still. Dabei »verbacken« die Atome der beiden Reibpartner miteinander – man spricht dabei von Kaltverschweißung – und lösen sich nur mühsam wieder, wenn die Drehung in der anderen Richtung wieder losgeht. »Mit diesen Erkenntnissen konnten wir eine weltweit einmalige technisch stabile Lösung entwickeln, die Entwicklungszeit um mindestens 99 Prozent verkürzen und einen Millionenauftrag sichern«, freut sich Otschik. Die Dichtungen im Kraftwerk, sie laufen nun also wieder störungsfrei. Doch das ist EagleBurgmann nicht genug: Das neue Tool soll ebenfalls dabei helfen, eine atomar dichte Dichtung zu entwickeln, die nahezu keine Reibung und fast keinen Verschleiß aufweist. Kurzum: Die virtuelle Materialsonde wird die Welt der Reibungsprozesse nachhaltig verändern. ■

Die Gewinner des Wissenschaftspreises des Stifterverbandes »Forschen im Verbund«: Prof. Matthias Scherge (links) und Prof. Michael Moseler.

# Laser macht Krebszellen sichtbar

Mithilfe eines neuen Laserscanner-Mikroskops lässt sich künftig während einer Hirnoperation wesentlich schneller und präziser bestimmen, ob ein Tumor vollständig entfernt wurde.

Von Tim Schröder

Die Technik arbeitet so präzise, dass sie Strukturen von nur **einem Mikrometer** auflösen kann.

**D**ie Operation eines Hirntumors ist im wahrsten Sinn des Wortes eine Gratwanderung: Die Chirurgeninnen und Chirurgen müssen das befallene Gewebe restlos entfernen, damit keine Krebszellen zurückbleiben. Andernfalls könnte der Tumor wieder aufflammen. Andererseits dürfen sie nicht zu viel gesundes Gewebe entfernen, um das Gehirn nicht zu schädigen. Während des Eingriffs wird deshalb oftmals mehrfach geprüft, ob der Krebsherd vollständig herausgeschnitten wurde. Vor allem die Wundränder sind entscheidend, weil dort oft Krebszellen verbleiben. Die Ärztin oder der Arzt entnimmt eine Gewebeprobe und schickt diese ins Krankenhauslabor. Dann heißt es: warten. Es kann erst weitergehen, wenn der Befund im OP-Saal eingetroffen ist. Sind noch Tumorzellen übrig geblieben, muss weiter geschnitten werden. Ist der Herd restlos entfernt, können die Ärzte die Wunde verschließen. Je nach Größe eines Krankenhauses und Belastung der Mitarbeiter kann der gesamte Vorgang jeweils bis zu 20 Minuten dauern. So geht wertvolle Zeit verloren.

## Krebszellen direkt im OP nachweisen

Diese Situation ist sowohl für Ärzte als auch für Patienten unbefriedigend. Deshalb wurde jetzt am Fraunhofer-Zentrum Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS in Erfurt ein Lasersystem entwickelt, mit dem sich direkt im Operationssaal überprüfen lässt, ob eine Gewebeprobe noch Tumorzellen enthält oder nicht. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes konfokales Mikroskop, das einen Laserscanner nutzt. Bei diesem System entsteht das mikroskopische Bild, indem der Laser die Oberfläche eines Objekts abtastet. Die Herausforderung bestand darin, einen kompakten Apparat zu entwickeln, der klein genug für den Einsatz vor Ort ist. »Den Medizinern geht es vor allem darum, die Narkose zu verkürzen, weil sie für die Patienten eine große Belastung ist«, erklärt der Leiter des Fraunhofer MEOS, Dr. Michael Scholles. »Dank unserer Innovation können die

Ärztinnen und Ärzte das Gewebe quasi direkt neben dem OP-Tisch untersuchen. In zwei Minuten ist der Befund da.«

Das Funktionsprinzip des Laserscanner-Mikroskops: Der Laserstrahl regt Tumorzellen zur Fluoreszenz an, wodurch sie unter dem Mikroskop sichtbar werden. »Besonders herausfordernd war, dass wir im Gerät diverse technische Elemente miteinander kombinieren mussten«, so Scholles. Insgesamt hat die Entwicklung dreieinhalb Jahre gedauert. Beteiligt waren daran unter anderem Expertinnen und

»Dank unserer Innovation können die Ärztinnen und Ärzte das Gewebe quasi direkt neben dem OP-Tisch untersuchen. In zwei Minuten ist der Befund da.«

Dr. Michael Scholles,  
Leiter des Fraunhofer MEOS

Experten des Fraunhofer-Instituts für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden und des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. Am Fraunhofer IZI wurde beispielsweise eigens für das Laserscanner-Mikroskop eine Färbetechnik mit speziellen Antikörpern entwickelt, die an die Krebszellen andocken. An diese Antikörper sind Farbstoffe gekoppelt, die im Laserlicht grün fluoreszieren und die Krebszellen sichtbar machen.

## Gewebe blitzschnell abscannen

Das Ziel der Projektpartner war es, die verschiedenen Komponenten platzsparend im Mikroskop zu verbauen. Immerhin muss das Gerät im Operationssaal neben vielen anderen Apparaten Platz finden. Zu den Komponenten gehören die Lasereinheit und eine Spiegelmechanik. Deren Kernelement ist ein nur 1,5 Millimeter großer, beweglicher Spiegel, der pro Sekunde mehrere tausendmal schwingt, den

Laserstrahl über die Gewebeprobe führt und diese blitzschnell abscannet. Hinzu kommen ein sehr empfindlicher Detektor, der das schwache Fluoreszenzlicht aufnimmt, und die Auswertelektronik. Diese hat die Aufgabe, aus den vielen Fluoreszenz-Signalen ein Abbild des Gewebes zu rekonstruieren. Die Technik arbeitet so präzise, dass sie Strukturen von nur einem Mikrometer auflösen kann. Das reicht, um sogar einzelne fluoreszierende Krebszellen zu erkennen.

Bei der Entwicklung des neuen Laserscanner-Mikroskops mit dem Namen LSC-Onco kam dem Team die jahrelange Erfahrung mit den verschiedenen Technologien zugute; etwa bei der Konzeption der Spiegel. Diese werden im Ganzen wie ein Computerchip präzise aus Siliziumscheiben, sogenannten Wafern, geätzt. Selbst die Aufhängung der Spiegel besteht aus Silizium. Fachleute sprechen dabei von Mikro-Elektronisch-Mechanischen Systemen (MEMS). »Wir arbeiten am Fraunhofer IPMS seit mehr als 20 Jahren an der MEMS-Technologie. Davon haben wir jetzt beim Design der hochempfindlichen Optik unseres Laserscanning-Mikroskops profitiert«, sagt Michael Scholles.

Inzwischen haben mehrere Ärzte das LSC-Onco-System getestet. Die Rückmeldungen seien durchweg positiv, betont Scholles. Das Fluoreszenz-Bild der Gewebeprobe wird im Operationssaal auf einem Bildschirm angezeigt, sodass die Chirurgeninnen und Chirurgen verbliebene Krebszellen gezielt entfernen können, ohne gesundes Hirngewebe zu verletzen.

Da sich der Fokus des Mikroskops verändern lässt, können sich die Operateure in das Gewebe hineinzoomen und auch Krebszellen erkennen, die etwas tiefer liegen. Grundsätzlich lässt sich das System auch für andere Krebsarten einsetzen. So arbeitet Michael Scholles unter anderem auch mit Dermatologen zusammen.

Mittelfristig wollen er und seine Kolleginnen und Kollegen das Gerät noch kompakter gestalten, um es in Operationsroboter einzubauen. Die Roboter sollen sich dann mithilfe des Fluoreszenzbildes vollautomatisch orientieren und die Tumore hochpräzise ausschneiden – ganz ohne Wartezeit. ■



Bei klassischen Medikamenten lässt die Wirkung oft schnell nach.

# Die Müllabfuhr überlisten

Zellen haben ein effizientes System zur Abfallentsorgung. Proxidrug nutzen es für neue Therapien gegen Krebs, Infektionen und Alzheimer.

Von Christine Broll

**N**achhaltigkeit ist das Thema von Dr. Aimo Kannt, allerdings Nachhaltigkeit bei der Wirkung von Medikamenten. »Klassische Medikamente binden an krankmachende Proteine und hemmen sie dadurch«, erklärt der Abteilungsleiter für Wirkstoffforschung und Präklinische Forschung am Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP in Frankfurt am Main. »Proxidrug vernichten die krankmachenden Proteine und haben damit eine nachhaltigere Wirkung.«

Die neue Medikamentenklasse der Proxidrug (kurz für proximity-inducing drugs) werde der Medizin bisher ungeahnte Perspektiven eröffnen, ist Aimo Kannt überzeugt. »Mit den jetzigen pharmazeutischen Wirkstoffen sind 80 Prozent aller möglichen Zielstrukturen nicht zugänglich. Mit Proxidrug könnten wir viele davon erreichen und Therapien für bislang unheilbare Erkrankungen entwickeln.« Weltweit wird intensiv an dem Thema geforscht. Erste klinische Studien laufen bereits. Bis die neuen Wirkstoffe in der Praxis ankommen, ist es aber noch ein weiter Weg.

Ein Stück des Weges ebnet Aimo Kannt gemeinsam mit einem Konsortium aus Universitäten und Industrie mit dem Projekt PROXIDRUGS. Das Vorhaben wird im »Clusters4Future«-Wettbewerb des Bundesforschungsministeriums gefördert. 137 Bewerbungen waren für den Wettbewerb eingegangen. PROXIDRUGS erhielt als eines von sieben Projekten die begehrte Förderung.

Die Hemmwirkung klassischer Medikamente lässt sofort nach, wenn das Medikament im Körper abgebaut wird. Daher müssen Medikamente wie etwa Blutdrucksenker regelmäßig eingenommen werden. Proxidrugs dagegen bekämpfen die krankmachenden Proteine und damit die Ursache der Erkrankung. Zur Vernichtung nutzen sie die zelleigenen Protein-Schredder, die Proteasomen. Diese sind Teil einer effizienten Recyclingstrategie. Dazu gehört ein Überwachungssystem, das kontinuierlich nach defekten oder verbrauchten Proteinen sucht. Ist ein solches Protein entdeckt, wird es sozusagen mit einem Fähnchen versehen, einem Molekül namens Ubiquitin. Das Ubiquitin-Fähnchen dient als Erkennungssignal für das Proteasom. In dieser tonnenförmigen Zellorganelle wird das Protein entfaltet und dann in kleine Stücke zerlegt.

### Proteine mit einem Fähnchen werden geschreddert

Proxidrugs sorgen dafür, dass krankheitsrelevante Proteine mit einem Ubiquitin-Fähnchen versehen werden. Damit werden sie für die zelleigene Müllabfuhr als Abfall gekennzeichnet und im Proteasom zerlegt. Das Prinzip klingt einfach. Die technische Umsetzung ist allerdings schwierig. Das Ubiquitin-Fähnchen wird von einem speziellen Enzym, der E3 Ligase, an das Protein geheftet. Proxidrugs sind so konstruiert, dass sie mit einer Seite an das Zielprotein binden und mit der

anderen Seite an die E3 Ligase. Die räumliche Nähe (engl. proximity), die dabei zwischen Zielprotein und E3 Ligase entsteht, ist namensgebend für die gesamte Substanzklasse (siehe Grafik).

»Im Projekt PROXIDRUGS berücksichtigen wir alle Aspekte, die mit diesen Wirkstoffen verbunden sind«, berichtet Aimo Kannt. Zum Konsortium gehören zehn Partner, darunter die Goethe-Universität Frankfurt als koordinierende Institution, die Technische Universität Darmstadt, das Max-Planck-Institut für Biophysik sowie die Pharmaunternehmen Merck und Abbvie.

Mit den jetzigen pharmazeutischen Wirkstoffen sind **80 Prozent** aller Zielstrukturen nicht zugänglich.

Drei Indikationen stehen im Fokus: Krebs, neurodegenerative Erkrankungen und Infektionskrankheiten. In allen drei Feldern geht es darum, Proteine zu eliminieren, die das Krankheitsgeschehen fördern. Bei Krebs sind das beispielsweise Botenstoffe, die die Tumorzellen zum Wachstum anregen. Im Bereich der neurodegenerativen Erkrankungen, wie zum Beispiel Alzheimer, zielt man auf Proteine, die im zentralen Nervensystem an der Bildung von Ablagerungen beteiligt sind. Bei

diesem Teilprojekt ist das Fraunhofer ITMP federführend.

### Neue Strategie gegen multiresistente Keime

Für die Bekämpfung von Infektionskrankheiten bieten Proxidrugs einen völlig neuen Ansatz. Hier besteht die Hoffnung, wirksame neue Medikamente gegen multiresistente Bakterien zu finden. Das Projekt befasst sich unter anderem mit dem gefährlichen Krankenhauskeim *Acinetobacter baumannii*, der vor allem Lungenentzündungen und Wundinfektionen verursacht.

Um die Suche nach wirkungsvollen Proxidrugs effektiver zu gestalten, entwickelt das Fraunhofer ITMP gemeinsam mit weiteren Partnern spezielle Testsysteme, mit denen man Wirkstoffe gegen die verschiedensten Zielproteine identifizieren kann. Parallel dazu etabliert Aimo Kannt im Rahmen des Fraunhofer Exzellenzclusters für immun-medierte Erkrankungen CIMD eine institutsübergreifende Plattform für die Entwicklung von Proxidrugs. Dabei soll die gesamte Wertschöpfungskette von der Suche nach geeigneten Wirkstoffen bis zu präklinischen Tests abgebildet werden. Im Fokus stehen hier entzündliche Darm-erkrankungen und fibrotische Lungen-erkrankungen. »Proxidrugs scheinen gut verträglich und auch gut wirksam zu sein«, sagt Kannt. Und er fügt hinzu: »Das motiviert uns, intensiv an der Entwicklung dieser neuen Wirkstoffklasse zu arbeiten.« ■

### Wie Proxidrugs wirken





# Mit Bus und Bahn durchstarten

Ein breit gefächertes, digital vernetztes Mobilitätsangebot ist das Ticket in die Zukunft – sowohl in der Stadt als auch auf dem Land.

Von Moritz Schmerbeck



Der Schulbus ist oft der einzige Bus, der auf dem Land fährt.

**D**ie Mobilitätswende beginnt nicht nur im Kopf. Auch bei dramatisch gestiegenen Benzinkosten genügt der Preisvorteil nicht allein als Argument für Bus und Bahn. Vor allem auf dem Land ist der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) trotz 9-Euro-Ticket für viele Menschen unattraktiv geblieben. Was hilft der günstige Fahrschein, wenn kein Bus fährt? Wie die Attraktivität nachhaltig gesteigert werden kann, haben jetzt das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE und das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML untersucht.

Die Fraunhofer-Forschenden legten bei ihrer Studie »Mobilitätswende 2030« ein besonderes Augenmerk auf den ländlichen und suburbanen Raum, denn dort ist der Liniensbus häufig die einzige Mobilitätsmöglichkeit neben dem Auto – und scheitert an einem Henne-Ei-Problem. Der Busverkehr auf dem Land orientiert sich stark an der Schülerbeförderung. Pendler spielen in den Planungen kaum eine Rolle.

»Genau an diesem Punkt setzen wir an«, erläutert Patrick Mennig, Senior Digital Innovation Designer am Fraunhofer IESE. »Die Nicht-Nutzer müssen bei der Ausgestaltung und Evaluation von Mobilitätsangeboten in den Mittelpunkt gestellt werden, um sie für den öffentlichen Personennahverkehr zu interessieren.«

### Viele Angebote – überall und jederzeit

Der Lösungsansatz der Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler: Erst ein attraktives Angebot schafft die Nachfrage.

In Großstädten wie Berlin, Hamburg oder München lässt sich ein Angebotspotpourri für viele Zwecke zu vielen Zeiten bereits erleben. Neben Bahn, U-Bahn, Bus und Tram gibt es auch On-Demand-Shuttles, Fahrdienste, Carsharing, E-Scooter und Leihräder – sogar von mehreren Anbietern.

Damit schaffen öffentliche Mobilitätsangebote für immer mehr Nutzerinnen und Nutzer die individuelle und maßgeschneiderte Lösung gegenüber der Standardlösung Privat-Pkw. »Im Idealfall sind die Mobilitätsangebote dann sogar so attraktiv, dass Menschen lieber mit öffentlichen Verkehrsmitteln als mit dem Auto fahren«, glaubt Mennig.

### Digital verknüpft und aufeinander abgestimmt

Das Potenzial von öffentlichen Verkehrsmitteln wird aber erst dann voll ausgeschöpft, wenn Mobilitätsangebote digital verknüpft und datenbasiert

aufeinander abstimmt werden können. Nur so gelangen die Menschen mit dem ÖPNV zuverlässig und komfortabel von Tür zu Tür – und das nicht nur günstiger, sondern auch schneller als mit dem Auto. Daher besteht auch in den Großstädten noch Nachholbedarf. Wer mit einem On-Demand-Shuttle von der Haustür zur hoch getakteten Buslinie fährt, dort einsteigt und im Anschluss für die »letzte Meile« einen E-Scooter nutzen möchte, benötigt bisher noch drei Apps von drei verschiedenen Anbietern mit drei unterschiedlichen Tarifstrukturen.

»Die Nutzerinnen und Nutzer möchten eine Seam-

less Customer Journey – ein nahtloses Erlebnis von der Verbindungssuche bis zum Zielort. Quasi alles mit einer einzigen Smartphone-App, in der auch komfortabel die Bezahlung abgewickelt werden kann«, erklärt Mennig. »Mobilitätsanbieter dürfen sich dabei nicht mehr als Konkurrenten sehen. Sie sollten die Vision, ein gutes, klimafreundliches Angebot für alle Menschen zu schaffen, gemeinsam verfolgen. Die Zusammenarbeit mit anderen Partnern mag zunächst als Verlust der Marktmacht wahrgenommen werden, durch die neuen Partnerschaften und damit einhergehende attraktivere Angebote wächst jedoch schlussendlich der Kundenkreis.« ■

»Im Idealfall sind die Mobilitätsangebote dann sogar so attraktiv, dass Menschen lieber mit öffentlichen Verkehrsmitteln als mit dem Auto fahren.«

Patrick Mennig, Fraunhofer IESE

# Die Suche nach der perfekten Pflanze

Intelligente Feldroboter und Röntgentechnik unterstützen Züchter bei der Selektion hitzetoleranter Sorten.

Von Christine Broll

Bei 25 Grad Celsius fühlt sich Weizen am wohlsten. Der Klimawandel macht ihm besonders zu schaffen.

**L**iegt der Mars in Franken? Das hochbeinige Gefährt, das wie von Geisterhand gesteuert durch ein Weizenfeld fährt, erinnert an den Mars Rover der NASA. Doch dieser Roboter ist in einer sehr irdischen Mission unterwegs. Während er sich seinen Weg durch die dicht stehenden Ähren bahnt, macht er kontinuierlich Röntgenaufnahmen der Pflanzen. Gleichzeitig erzeugt er mit einem optischen System 3D-Bilder. Für den Züchter, auf dessen Feld der Roboter unterwegs ist, sind das wichtige Informationen. Er kann anhand der Daten quasi in die Weizenähren hineinschauen und erkennen, ob die angebaute Sorte einen guten Ertrag liefern wird.

Die Sensorik an dieser Hightech-Maschine ist eine Entwicklung des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS. Dort beschäftigt man sich seit vielen Jahren mit Technologien zur Bestimmung des Phänotyps von Pflanzen. Damit ist das äußere Erscheinungsbild gemeint, das zahlreiche Faktoren beinhaltet, wie Blattgröße, Blattstellung, Wurzeldicke oder Ertrag. »Die Menschen selektieren bereits seit Jahrtausenden Nutzpflanzen anhand äußerer Merkmale«, erklärt Dr. Stefan Gerth, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik des Fraunhofer IIS. »Wir entwickeln Technologien, um diese phänotypischen Merkmale objektiv zu messen und anhand der Daten die Züchtung zu optimieren.« Denn auf die Züchter kommen große Herausforderungen zu. Wegen des Klimawandels sind hitzetolerante, trockenheitsresistente Pflanzen gefragt. Gleichzeitig sollten die neuen Sorten mit möglichst wenig Dünger und Pestiziden auskommen.

## Schulterschluss der Experten

Die Unterstützung der Züchter ist das wichtigste Ziel des überregionalen Fraunhofer-Projekts Biogene Wertschöpfung und Smart Farming, innerhalb dessen das Fraunhofer-Zentrum für Technologien in der Pflanzen-Phänotypisierung am Standort Triesdorf in Mittelfranken aufgebaut wird. Hier wollen Gerth und seine Kolleginnen und Kollegen die Kompetenzen ausbauen und in die Anwendung

bringen. Deutschlands kleinster Ort mit Hochschule ist ein überregionales Zentrum für Landwirtschaft mit den Landwirtschaftlichen Lehreinrichtungen und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Mit dem dortigen Kompetenzzentrum digitale Landwirtschaft arbeitet das Fraunhofer IIS eng zusammen.

## Hightech für die Zucht

Im Gewächshaus des Fraunhofer IIS zeigt Stefan Gerth, wie Züchter in Zukunft arbeiten werden. Auf dem schmalen Fließband vor der Röntgenkammer stehen Töpfe mit unterschiedlichen Nutzpflanzen in Reih und Glied. Die Tür der Kammer öffnet sich, ein Blumentopf rollt hinein. Nachdem sich die Tür wieder geschlossen hat,

»Die Menschen selektieren bereits seit Jahrtausenden Nutzpflanzen anhand äußerer Merkmale.«

Dr. Stefan Gerth, Fraunhofer IIS

wird der Topf unter anderem von einem Computertomographen gescannt. Nur fünf Minuten später ist die nächste Pflanze an der Reihe. »Wir haben vor über zehn Jahren begonnen, Kartoffelpflanzen zu röntgen, um Auskunft über das Wachstum der Knollen zu bekommen«, berichtet Gerth. »Anhand der 3D-Röntgen-Scans können wir das Gewicht der Knollen bestimmen, ohne sie auszugraben.« Genutzt wird das Verfahren zum Beispiel bei der Selektion von besonders hitzetoleranten Sorten. Dazu setzt man die Pflanzen im Gewächshaus Hitzestress aus. Auf den Scans lässt sich dann beobachten, welche Pflanzen am besten damit zurechtkommen und trotzdem kräftige Knollen bilden.

Während sich mit den ersten Computertomographen nur dicke Wurzeln und Knollen röntgen ließen, können die neuen Systeme auch die feine unterirdische Wur-

zelarchitektur von Weizen erfassen. »Unsere neue Röntgenkabine ist das modernste und leistungsstärkste Röntgensystem für unterirdische Pflanzenteile«, betont Gerth.

Auch oberirdische Pflanzenteile wie Blätter und Weizenähren werden am Fraunhofer IIS digital in 3D erfasst. Anhand dieser Daten lässt sich nicht nur die Größe der Blattfläche bestimmen. Die 3D-Bilder geben ebenso Auskunft über die Hitzetoleranz. Stellt eine Pflanze ihre Blätter auf, um sich vor der Sonne zu schützen? Rollt sie stressbedingt ihre Blätter ein?

Wie effizient die optischen Pflanzenerkennungssysteme des Fraunhofer IIS arbeiten, ließ sich auf einem Versuchsfeld des Saatgutunternehmens Strube D&S GmbH beobachten. Dort war der zweite Prototyp des BlueBobs im Einsatz, ein autonom navigierender Feldroboter, der in Zuckerrübenfeldern automatisch das Unkraut hackt. Während er durch die Reihen fährt, erfasst er mit Multispektralkameras alle lebenden Pflanzen. »Mithilfe von Künstlicher Intelligenz wird der Phänotyp jeder einzelnen Pflanze analysiert und in Unkraut und Rübe klassifiziert«, erklärt Christian Hügel, Abteilungsleiter Saatgutforschung Produktion Zuckerrübe bei Strube. Identifiziert BlueBob 2.0 ein Unkraut, entfernt er es mit seinen Hackwerkzeugen aus dem Boden. Er hackt sowohl zwischen den Reihen mit statischen Hacken als auch in der Reihe mit aktiven Hackwerkzeugen, was zu einer fast vollständigen Entfernung des Unkrauts im Rübenbestand führt. Der Einsatz chemischer Unkrautvernichtungsmittel kann dadurch drastisch reduziert werden.

Ein großes Arbeitspaket des neuen Triesdorfer Zentrums wird die Aufbereitung der bei der Phänotypisierung gewonnenen Daten umfassen. »Mit unserer Technologie wollen wir vor allem kleine und mittelständische Pflanzenzüchter unterstützen«, betont Stefan Gerth. »Daher entwickeln wir in Triesdorf in enger Zusammenarbeit mit den Praktikern Geschäftsmodelle, die für die Unternehmen einen Mehrwert bieten.« ■

Hier geht's zum Podcast:





5G-Netze und Künstliche Intelligenz im OP machen es möglich, große Datenmengen schnell auszuwerten.



## FRANKREICH

### Die Klinik der Zukunft

An der digitalisierten »Klinik der Zukunft« arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA zusammen mit französischen Partnern. In dem Projekt 5G-OR wird in den Operationsälen von drei Kliniken in Straßburg, Mannheim und Berlin ein eigenes 5G-Netz installiert. Die 5G-Technologie ermöglicht es, eine Vielzahl mobiler Geräte auf kleinstem Raum mit geringen Verzögerungen zu vernetzen – und das Personal erheblich zu entlasten. So kann beispielsweise die Analyse der Vitalparameter wie die Herz- und Atemfrequenz oder die Sauerstoffsättigung während einer OP digital und automatisiert erfolgen. Alle Vitaldaten laufen drahtlos in einem Zentralrechner zusammen, wo sie von Künstlicher Intelligenz in Echtzeit ausgewertet werden. Das medizinische Personal sieht auf einen Blick, wo vorrangig Handlungsbedarf besteht. Lebenswichtige Parameter werden derzeit mit nicht vernetzten Geräten gemessen. Diese erlauben, nur etwa fünf Prozent aller möglichen Biosignale zu erfassen.

# Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



## PORTUGAL

### Düngemittel auf Abruf

Das Projekt AFRICA ermöglicht afrikanischen Kleinbauern eine kostengünstige, passgenaue Düngerproduktion vor Ort. Unterstützt werden sollen vor allem Farmerinnen. Hierfür entwickelte das Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS in Porto eine IoT-Sensorplattform, die den Zustand des Bodens und der Umgebung bestimmt: Beschaffenheit, pH-Wert, Feuchtigkeit, Farbe, Lufttemperatur und Lichteinfall. Der so ermittelte Nährstoffbedarf wird an eine Mini-Anlage übermittelt, die darauf abgestimmte Düngemittel produziert und direkt auf der Farm mit Solarenergie betrieben wird. Gleichzeitig erhält die Landwirtin In-

Düngemittel werden oft ineffizient eingesetzt.



formationen, wie und in welcher Menge sie den Boden düngen sollte. Derzeit produziert die Anlage Dünger auf Stickstoffbasis. Sie soll jedoch für die Herstellung weiterer Nährstoffe ausgebaut werden.

Afrikanische Kleinbäuerinnen und Kleinbauern produzieren 80 Prozent der Nahrungsmittel des Kontinents. Doch durch das Bevölkerungswachstum steigt der Nahrungsmittelverbrauch fast zehnmals stärker als die Produktion. Weil der Nährstoffgehalt der Böden häufig nicht richtig eingeschätzt wird, werden Ackerflächen überdüngt – das beeinträchtigt nicht nur den Ernteertrag, sondern fördert auch den Klimawandel.



## PORTUGAL

### Nachhaltig bewässern

Ein unterirdisches sensorbasiertes System soll in Zukunft dabei helfen, den Feuchtigkeitsgehalt von Böden aus der Ferne zu überwachen und die Bewässerung präzise darauf abzustimmen. Entwickelt wird das System LoRa4U-Probes von Fraunhofer Portugal AICOS zusammen mit dem Unternehmen Aquagri. Durch die unterirdische Implementierung von Hardware mit erweiterter Reichweite und die Kompatibilität mit Messsonden verschiedener Hersteller hebt sich LoRa4U-Probes von anderen Lösungen zur Bodenüberwachung ab.

Der modulare Aufbau variiert je nach Größe der Fläche. Ein Gerät ist für



Der Klimawandel zwingt dazu, landwirtschaftliche Bewässerung zu optimieren.

einen Garten von durchschnittlicher Größe ausreichend, während für einen Golfplatz mehrere Einheiten notwendig sind. Momentan kann LoRa4U-Probes über eine Entfernung von 1,7 Kilometer mit einem Gateway kommunizieren, das die Datenpakete gebündelt weiterleitet. Die Forschenden arbeiten zurzeit daran, die Reichweite zu erhöhen.



## GRIECHENLAND

### Nachwachsende Rohstoffe statt Rohöl

Den Einsatz fossiler Brennstoffe verringern wollen die Forschenden im europäischen Projekt BioMates. Dafür werden pflanzliche Abfälle in hochwertige biobasierte Zwischenprodukte (BioMates) umgewandelt, die für eine Kraftstoffproduktion in konventionellen Raffinerien genutzt werden können.

Die Rezeptur, mit der nun erstmals 1000 Liter Bioöl hergestellt wurden, entwickelte das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Verwendet wird hierfür Stroh und Miscanthus, ein schnell wachsendes China-Gras.

In einer Labor-Raffinerie testet das griechische Forschungszentrum CERTH, das das Projekt koordiniert, die Weiterverarbeitung des Bioöls zu Kraftstoff unter industriellen Bedingungen. Ziel ist ein biobasierter Spirit, der zu 90 Prozent aus fossilen Brennstoffen und zu 10 Prozent aus BioMates besteht.

Bislang können für solchen Hybrid-Spirit nur gebrauchsfertige Biokraftstoffe am Ende des Produktionsprozesses mit herkömmlichen Kraftstoffen gemischt werden. Mit BioMates wäre dieser Schritt nicht mehr notwendig. Der Vorteil: Fossile Energie und Kosten werden eingespart.



Bioöl aus schnell wachsendem Miscanthus-Gras kann in herkömmlichen Raffinerien zu Kraftstoff verarbeitet werden.



## ÖSTERREICH

### Lebensmittel: Vorhersage statt Verschwendung

Jedes Jahr landen EU-weit 88 Millionen Tonnen Nahrungsmittel im Müll. Im Projekt APPETITE wollen die Forschenden die Verschwendung um bis zu zehn Prozent reduzieren.

Dafür sollen mittels Künstlicher Intelligenz Angebot und Nachfrage bei den beteiligten Supermärkten so reguliert werden, dass sich große Mengen Lebensmittel nicht mehr in der falschen Filiale befinden. Das Forschungskonsortium unter Leitung der Fraunhofer Austria Research GmbH entwickelt den Prototypen einer Prognose-Plattform, die alle notwendigen Daten nahezu in Echtzeit verarbeitet. Dies sind Kassendaten und Logistikdaten der einzelnen Läden, aber auch Informationen zum Auftreten großer Menschenmengen und der Wetterlage. Denn erwartbare Verkäufe hängen stark von solchen äußeren Einflüssen ab. Erkennt die Handelskette



Mithilfe von Künstlicher Intelligenz soll der Verbrauch besser prognostiziert werden.

rechtzeitig den Bedarf, kann sie Lebensmittel dorthin umlagern, wo sie voraussichtlich gekauft werden und vermeiden, dass sie an anderer Stelle übrig bleiben. Lässt sich die Logistik nicht mehr rechtzeitig ändern, können Organisationen, die Lebensmittel retten, frühzeitig informiert und Waren weitergegeben werden.

# Pflanzenschutz ohne Gift

Ein Drittel der weltweiten Ernte wird von Insekten aufgeessen. Wie bekämpft man diese Schädlinge, ohne dabei die Vielzahl nützlicher Sechsbener zu gefährden? Das Fraunhofer IME hat eine clevere Methode von der Natur abgeschaut und nutzt sie für einen umweltfreundlichen Pflanzenschutz.

Von Dr. Monika Offenberger

**O**stafrika droht die schlimmste Hungersnot seit 40 Jahren, fürchtet Landwirtschaftsminister Cem Özdemir.

Von der »größten Hungersnot seit dem Zweiten Weltkrieg« spricht Entwicklungsmministerin Svenja Schulze, »die Lage ist hochdramatisch«. Die bekannten Ursachen sind Corona, der Klimawandel mit extremen Dürren, der Krieg in der Ukraine – aber auch Ernteausfälle durch Schädlingsbefall. Durch Krankheiten und Fraßschädlinge gehe fast ein Drittel der weltweit angebauten Feldfrüchte verloren, errechnete eine Forschergruppe der University of Twente. Am stärksten betroffen sei Reis, aber auch bei Kartoffeln, Weizen, Soja und Mais komme es zu Verlusten zwischen 17 und 23 Prozent. »Wir beobachten mit Sorge, dass sich bestimmte Schadinsekten massiv ausbreiten«, bestätigt Prof. Andreas Vilcinskas vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME in Gießen. Das 2018 erlassene EU-weite Verbot der tödlichen Neonicotinoide zur Schädlingsbekämpfung ist ein wichtiger Schritt, um Bienen und andere nützliche Insekten zu schützen. Doch ohne wirkungsvollen Ersatz »fühlen sich die Bauern im Stich gelassen, weil man ihnen die Waffen genommen hat«, so Vilcinskas.

Die Dringlichkeit zeigt sich beim Rübenanbau: Blattlaus und Schilf-Glasflügelzikade bedrohen die Ernteerträge von 26 000 Rübenbauern in Deutschland. Die wenige Millimeter kleinen Insekten saugen an den Blättern der Feldfrucht und infizieren sie dabei mit Viren und Bakterien, die den Zuckergehalt der Rübe um bis zu 40 Prozent verringern. Die Blattläuse und die Zikade breiten sich rasant aus, in Deutschland haben sie schon rund 40 000 Hektar Ackerfläche befallen. »Seit

dem Verbot der Neonicotinoide haben wir nichts gegen sie in Händen«, sagt Andreas Vilcinskas: »Unser Ziel ist es, neue Strategien zur Schädlingsbekämpfung zu entwickeln, jenseits von chemischen Pestiziden mit ihren fatalen Nebenwirkungen auf nützliche Insekten.«

## Gene gezielt ausschalten

Der Schlüssel zu einem umwelt- und insektenverträglichen Pflanzenschutz liegt in der Genomforschung. Zunächst gilt es, solche Gene zu identifizieren, die für eine bestimmte Art von Pflanzenschädling – und nur für diese! – charakteristisch und zugleich lebenswichtig sind. Sobald man diese Gene kennt, versucht man sie gezielt auszuschalten. Eine Methode haben Biologen, wie so oft, von der Natur abgeschaut: Sie nennt sich RNA-Interferenz, kurz RNAi, oder RNA-Silencing. »Diesen Mechanismus benutzen alle höheren Organismen, um sich gegen eindringende Viren zu schützen. Wir wollen ihn nutzen, um artspezifische Gene stillzulegen«, erklärt Vilcinskas. Das Kunststück gelingt mit doppelsträngigen RNA-Stücken, deren Sequenz exakt komplementär zu den ausgewählten Genen im jeweiligen Schädling ist. Denn Tier- und Pflanzenzellen stellen normalerweise nur einzelsträngige RNA her. Sobald sie doppelsträngige RNA in ihren Zellen entdecken, erkennen sie diese als fremd und bauen sie ab. Entscheidender Nebeneffekt: RNA-Einzelstränge derselben Sequenz werden bei dieser Aktion gleich mit vernichtet. Will man also ein bestimmtes Gen stillschalten, muss man lediglich die von ihm kodierte RNA-Sequenz als Doppelstrang nachbauen. Und dann dafür sorgen, dass sie in die Schadinsekten gelangt, spricht: gefressen wird.

**Doppelt schädlich:** Beim Stechen und Saugen übertragen Blattläuse auch Viren und Bakterien.

Foto: Science Photo Library / Heath McDonald



Allein in Mitteleuropa sind rund 850 Blattlausarten bekannt.

Dazu gibt es zwei Optionen. Nummer eins: Man programmiert das Erbgut der Kulturpflanze so, dass sie die doppelsträngige RNA gegen ein essentielles Gen ihres Fraßfeindes produziert. »Der Charme dieser Methode ist, dass sie eine artspezifische Kontrolle von Schadinsekten ermöglicht, wenn wir nur das gewünschte Gen in diesen, aber nicht in anderen Organismen stilllegen. Selbst nah verwandte Arten sind davon nicht beeinträchtigt, erst recht nicht Bienen und andere Tiere oder Menschen«, betont Andreas Vilcinskas.

Wie sein Team vorgeht, zeigt sich am Beispiel der Erbsenblattlaus. Das Insekt ernährt sich von Pflanzensäften und zapft dazu die Leitungsbahnen seiner Wirtspflanzen an. Ein spezielles Eiweiß in seinem Speichel härtet beim Kontakt mit dem Saftstrom aus und dient der Blattlaus als Trinkhalm. »Wenn wir genau dieses Eiweiß mit RNAi ausschalten, dann kann sie den Trinkhalm nicht mehr herstellen und verhungert«, erklärt der Biologe. Anderen Forschungsgruppen gelang es mithilfe der RNAi-Technik, Kartoffelpflanzen gegen den gefräßigen Kartoffelkäfer resistent zu machen. Weltweit erhofft man sich von der neuen Technik eine umweltfreundliche Alternative zur Giftspritze. Ob die wehrhaften Erbsen- und Kartoffelsorten einst auch in Deutschland angebaut werden, ist angesichts der großen Vorbehalte gegen transgene Pflanzen jedoch ungewiss.

Deshalb setzt Andreas Vilcinskas auf Option Nummer zwei. »Wir wollen die doppelsträngige RNA im Labor herstellen und dann direkt auf den Acker sprühen. Die Schadinsekten nehmen sie dort beim Fressen auf. Das ist, auch in großen Mengen, völlig unbedenklich, weil RNA keine giftigen Bestandteile enthält und im Freien restlos zerfällt«, erläutert der Insektenforscher. Allerdings dürfen die Biomoleküle nicht zu früh zerfallen oder verdaut werden. »Viele Insekten geben mit dem Speichel Enzyme ab, die RNA abbauen. Auch dafür müssen wir eine Lösung finden. Schließlich muss die RNA vom Insekt aufgenommen werden und unversehrt durchs Darmepithel gelangen. Erst dann kann sie ihre Wirkung entfalten. Wir müssen also für jede Schädlingsart eine passende Formulierung entwickeln, die alle diese Voraussetzungen erfüllt und sich außerdem mit handelsüblichen Geräten versprühen lässt«, führt der Fraunhofer-Forscher aus. Ein gemeinsam vom Fraunhofer-IME und der US-amerikanischen Firma Greenlight Biosciences entwickeltes Präparat

gegen den Kartoffelkäfer hat sich bereits bewährt und wird nun in Kooperation mit dem Julius-Kühn-Institut in Feldversuchen getestet. »In den USA wurden die Versuche im Freiland dieses Jahr erfolgreich abgeschlossen, die Marktzulassung ist bereits beantragt«, so Vilcinskas: »Als Nächstes testen wir ein Mittel gegen den Rapsglanzkäfer, der die Pollen der Rapsblüten frisst und so die Reifung der Rapsschoten verhindert.«

### Bewährt und bezahlbar

Damit die neuartigen Biopestizide konkurrenzfähig sind, müssen sie bezahlbar sein. Zu diesem Zweck arbeiten die Gießener Fraunhofer-Forscher mit Greenlight Biosciences zusammen. Die Firma hat ein zellfreies Verfahren zur synthetischen Herstellung von RNAi entwickelt und patentieren lassen, das deutlich kostengünstiger ist als die herkömmliche Produktion in gentechnisch veränderten Hefezellkulturen. Auch das Bundeslandwirtschaftsministerium setzt auf RNAi-basierte Pestizide und fördert das Fraunhofer-IME bei der Entwicklung entsprechender Präparate gegen Blattläuse und die Schilf-Glasflügelzikade. Parallel dazu hat Andreas Vilcinskas Dutzende weitere schädliche Tierchen im Visier, darunter etliche Käfer und Schmetterlingsraupen – und ein knappes Dutzend Viren, die eines unserer wichtigsten Nutztiere befallen: die Honigbiene. Die todbringenden Erreger werden durch Milben und andere Parasiten in den Bienenstock geschleppt oder beim Blütenbesuch von einem Insekt ans nächste weitergegeben.

Auch hier könnte RNAi Abhilfe schaffen, glaubt Vilcinskas: »Wir wollen lebenswichtige Gene dieser Viren stillschalten und sie so an der Vermehrung hindern.« Sein Team arbeitet daran, spezifische Gensequenzen zu finden und sie entsprechend zu verpacken, damit sie mehrere Tage stabil bleiben. In Zuckerwasser gelöst, könnten sie im Winter an die Honigbienen verfüttert werden und ihre heilende Wirkung entfalten. Dies käme auch ihren wilden Verwandten zugute, betont Andreas Vilcinskas: »Wir beobachten immer häufiger, dass Viren von Honigbienen beim Blütenbesuch auf Hummeln und andere Wildbienen übertragen werden. Wenn wir diese tödlichen Erreger durch RNAi unschädlich machen könnten, wäre das ein wichtiger Schritt zur Rettung der unverzichtbaren Bestäuber in Natur und Landwirtschaft.« ■

Mit bis zu sieben Metern Spannweite sind Mantarochen beeindruckende Riesen. Gefährlich sind sie und andere Teufelsrochen für den Menschen jedoch nicht. Im Gegensatz zu Stechrochen haben sie keinen Giftstachel.



Foto &amp; Fraunhofer

## Vom Robo-Rochen aufgespürt

Es ist ein Wettlauf gegen die Zeit. 1,6 Millionen Tonnen Minen und Sprengkörper aus dem Zweiten Weltkrieg sind tickende Zeitbomben in Nord- und Ostsee. Rosten sie, gelangen krebserregendes TNT, Nitroaromate und Quecksilber ins Wasser. Jetzt haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM zusammen mit Partnern einen Unterwasser-Roboter entwickelt, der dank innovativer, vernetzter Sensoren Metall aufspüren kann, das auf dem Meeresboden oder leicht vergraben unter dem Sand liegt. In Wendigkeit und Beweglichkeit orientiert er sich am Vorbild des Mantarochens. So erkundet der Robo-Rochen auch enge und schwer erreichbare Stellen, die bisher nur von professionellen Tauchern inspiziert werden können.

Autonome Unterwasser-Vehikel (AUV) gibt es schon seit einigen Jahren. Inspiriert von Tieren wurden sie optisch und anatomisch an die Meereswelt angepasst. Bisher waren die Robo-Rochen aber noch nicht so smart, dass sie die gefährliche Arbeit von Taucherinnen und Tauchern übernehmen konnten. Im Projekt Bionic RoboSkin erhalten die robotischen Mantas eine flexible bionische Sensorhaut, die es den Unterwassermobilen erlaubt, sich autonom in ihrem jeweiligen Umfeld zurechtzufinden. Die Sensoren sitzen in den Flügelflächen. Forschende am Fraunhofer IZM entwickeln die integrierten Sensormodule, dank derer die AUV sowohl Berührungen und Annäherungen als auch ihre Umgebung erkennen und analysieren können.





11. - 15.8.2022

#WeKnowHow

# Willkommen im Technology Roof!

Ihr wollt Forschung live erleben? Dann seid Ihr im Technology Roof powered by Fraunhofer genau richtig. Hier erfahrt Ihr nicht nur, welche spannenden Technologien unsere Zukunft prägen werden - Ihr dürft auch aktiv mitmachen. Wir freuen uns auf Euren Besuch!



Olympia-Park München,  
Coubertinplatz,  
Technology Roof  
<https://s.fhg.de/roofs>

Lange Publikationslisten sind in der Industrie 4.0 nicht gefragt.

# Exzellenz besser messbar machen

Ingenieurinnen und Ingenieure arbeiten meist anwendungsorientiert. Die aktuellen Bewertungsverfahren der akademischen Welt werden ihrer Leistung nicht gerecht.

Von Franziska Sell

**I**m Konkurrenzkampf um die besten Stellen und Fördergelder gilt in den Wissenschaften die Publikationsliste als Maß aller Dinge: Wie lang ist sie? Hat man Beiträge in renommierten Fachzeitschriften veröffentlichten können? Wie häufig wurde man von anderen zitiert?

»Doch das erweist sich in den anwendungsorientierten Technikwissenschaften und speziell im Bereich Industrie 4.0, der auf die Digitalisierung der industriellen Produktion abzielt, als nur sehr bedingt aussagekräftig«, erklärt Dr. Michael Schmidt, Chief Scientist am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML. Zu wenig berücksichtigt wird die zentrale Frage, was die Kandidatin oder der Kandidat tatsächlich praktisch umgesetzt hat. Bestes Beispiel für die Unzulänglichkeit des bisherigen Systems sei das »Handbuch Industrie 4.0.«: »Es wurde über eine Million Mal heruntergeladen. Das Kriterium »Anzahl der Downloads« spielt aber keine Rolle bei der Ermittlung des sogenannten h-Index – einer Kennzahl, die darauf basiert, wie häufig eine Person zitiert wurde. Trotzdem ist das Handbuch ein Standardwerk und hat einen großen Einfluss auf die Praxis: Über eine Million Menschen haben es gelesen und daraus Erkenntnisse gezogen.«

Vor diesem Hintergrund startete das Fraunhofer IML gemeinsam mit dem Speech and Language Technology Lab des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz DFKI Berlin und der Firma Ubermetrics Technologies GmbH das For-

schungsvorhaben EVALITECH, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Michael Schmidt: »Unser Ziel war, wissenschaftliche Exzellenz im Bereich Industrie 4.0 besser messbar zu machen – und so in Bewerbungs- und in Berufungsverfahren, zum Beispiel an Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen, die geeignetsten Kandidatinnen und Kandidaten zu identifizieren.«

»Spannend war die Vielfalt der relevanten und messbaren Einflussgrößen, die wir in zahlreichen Diskussionen herausgearbeitet haben.«

Dr. Michael Schmidt, Fraunhofer IML

Das Projektteam entwickelte eine eigene Indikatorik. Es bereitete zunächst die gängigen Kenngrößen zur Evaluation auf und ermittelte, welche zusätzlichen Qualitätsmerkmale systematisch berücksichtigt werden müssten. »Spannend war die Vielfalt der relevanten und messbaren Einflussgrößen, die wir in zahlreichen Diskussionen herausgearbeitet haben«, berichtet Schmidt. Zu wissenschaftlichen Erfolgsfaktoren zählen schließlich auch Führungserfahrung, wie viele Förder- und Industriemittel eine Person eingeworben hat, Messepräsenzen und die Vortragstätigkeit. »Alles interessante und aussagekräftige Parameter – und nicht einfach zu ermitteln.« An dieser Stelle unterstützten

die Fachleute von Ubermetrics mit ihrer Expertise in Medienanalyse sowie das Team des DFKI, dessen Expertinnen und Experten mit ihren Spracherkennungs-Lösungen Informationen aus zuvor erfassten Dokumenten, etwa Lebensläufen, extrahierten.

Die Forschenden am Fraunhofer IML analysierten die Datenlage, unterteilten in automatisiert sowie manuell zu erfassende Daten und überführten ihre Erkenntnisse in einen Demonstrator. Sie konstruierten Verrechnungs- und Vergleichsmöglichkeiten und entwickelten Algorithmen, die es ermöglichen, Personen anhand flexibler Kriterien zu vergleichen, aber auch beliebige Suchen durchzuführen.

**Künstliche Intelligenz (KI)** kam zwar bei der Gewinnung, Filterung und Aufbereitung von Daten zum Einsatz, nicht jedoch bei deren Bewertung. Hierfür schufen die Fachleute flexibel einstellbare Gewichtungprofile, zum Beispiel »EntrepreneurIn«, »WissenschaftlerIn« oder »InfluencerIn«. »Diese individuellen Profile kann man auf die automatisiert erfassten Daten legen und so herausarbeiten, wer wie gut für eine bestimmte Position geeignet ist. Ist die Person beispielsweise besonders gut vernetzt oder auffallend aktiv auf Social Media? Oder pflegt sie zahlreiche Kontakte zu Start-ups?«, präzisiert Schmidt. »Mit unserer flexiblen und vielschichtigen Indikatorik lässt sich ein Datenbestand von 1000 Kandidaten in Zukunft über verschiedene Schieberegler leicht analysieren und interaktiv filtern.«



H<sub>2</sub>

GREEN

# 6. Fraunhofer Alumni Summit 2022

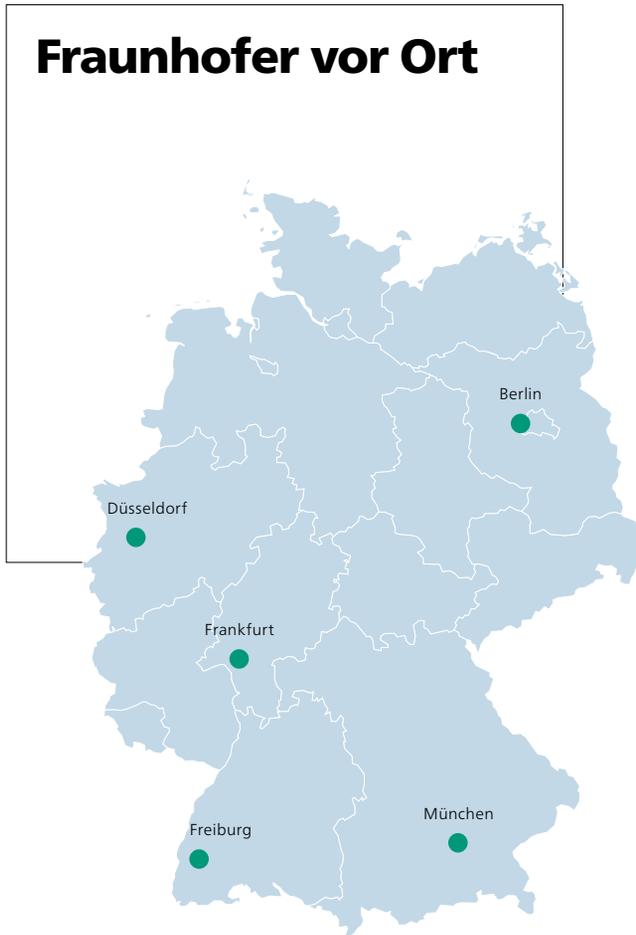
---

»Unter Strom –  
innovative Energietechniken«  
18. November 2022, Freiburg

In Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten  
EMI – IAF – IPM – ISE

ENERGY

## Fraunhofer vor Ort



- München**  
**11.–15.08.2022**  
**ROOFs Festival**  
 Technology Roof by Fraunhofer, Olympiapark
- Frankfurt a. M.**  
**22.–26.08.2022**  
**Achema**  
 Internationale Leitmesse für die Prozessindustrie
- Berlin**  
**20.–23.09.2022**  
**InnoTrans**  
 Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
- Berlin**  
**28.–29.09.2022**  
**Futuras in Res – The Quantum Breakthrough**  
 Konferenzreihe der Fraunhofer-Gesellschaft
- Düsseldorf**  
**19.–26.10.2022**  
**K**  
 Weltweit bedeutendste Messe der Kunststoff- und Kautschukindustrie
- Düsseldorf**  
**14.–17.11.2022**  
**Medica / Compamed**  
 Internationale Leitmessens für die Medizinbranche
- München**  
**15.–18.11.2022**  
**electronica**  
 Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik
- Freiburg**  
**18.11.2022**  
**6. Fraunhofer Alumni Summit**

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

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

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



»Zero-Trust-Strategie heißt, der Datenverkehr und jeder Zugriff wird ständig überwacht.«

Martin Seiffert, Fraunhofer AISEC, über den Kampf gegen Cyberkriminalität

