

Fraunhofer

weiter.vorn

Das Magazin

2/20

Corona und die Chancen

Was wir jetzt für
die Zukunft lernen



Markus Söder: »Wir müssen einen Technologie-Sprung schaffen«



Prof. Reimund Neugebauer:
»Die Krise offenbart die Chancen«



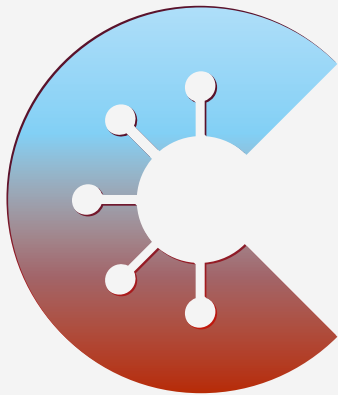
Oliver Zipse: »Der Digitalisierungsschub wird zu mehr Resilienz führen«



Titanilla
Komenda,
Fraunhofer
Austria

#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA

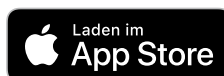
#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:

UNTERSTÜTZT UNS IM KAMPF GEGEN CORONA.

Jetzt die Corona-Warn-App herunterladen
und Corona gemeinsam bekämpfen.



Die Krise offenbart die Chancen



Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Es sind nur wenige Monate bisher, und doch ist durch Corona so vieles für so viele infrage gestellt und radikal verändert. Ein Geschäftsleben beinahe ohne Reisen und gänzlich ohne Kongresse, ein Privatleben fast ohne Ferienfahrten, Feiern und Freundestreffen, ein Familienleben zu Hause mit Eltern im Home-Office und Kindern im Home-Schooling – all das ist möglich und Alltag geworden. Wir haben uns angepasst. Und das in einer Schnelligkeit und auch Effizienz, die kaum jemand noch zu Beginn dieses so außergewöhnlichen Jahres 2020 für machbar oder auch nur denkbar gehalten hätte.

Bei all den Schutzmaßnahmen, die wir erlebt haben:

»Social Distancing« hat zu räumlichen Beschränkungen geführt, jedoch nicht zu gedanklichen. Im Gegenteil. Es ist diese Agilität, es ist diese ungeheure Fähigkeit zur Veränderung und Entwicklung, die mich in diesen Wochen zuversichtlich macht. Der Aufbruch ist Alltag geworden. Lassen Sie uns gemeinsam die Chancen gestalten.

Selbst unter Pandemie-Bedingungen hat die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Arbeitsfähigkeit unter Beweis gestellt – auch bei der im Juni gestarteten Corona-Warn-App. Fraunhofer hat beraten, technische Dokumente bewertet, bei Funktionen und Formaten erfolgsbestimmend mitgewirkt. Nach Tests durch Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher konnte die App weiter optimiert werden. Bundesgesundheitsminister Jens Spahn hatte einigen Grund, bei der Vorstellung die »gute Ingenieurskunst« zu würdigen. »Das ist nicht die erste Corona-App weltweit«, stellte Kanzleramtsminister Helge Braun fest, »aber ich bin ziemlich überzeugt: Es ist die beste.« In jedem Fall ist diese App ein Werkzeug, um Infektionsketten künftig zuverlässiger unterbrechen zu können. Ich bitte Sie herzlich, weiterhin alles zu tun, um diese Pandemie zu bekämpfen. Laden Sie die App auf Ihr Smartphone! Sie ist eine Chance für uns alle.

Das Wort »Chance« werden Sie immer wieder lesen in diesem Fraunhofer-Magazin. »Der Digitalisierungsschub, den die Krise beschleunigt hat, bringt die Gesellschaft in vielen Bereichen spürbar voran«, stellt etwa Oliver Zipse fest. In einem Gastbeitrag benennt der Vorsitzende des Vorstands

der BMW AG als »Stimme aus der Wirtschaft« die Hoffnung, das Erlebte werde »uns flexibler und anpassungsfähiger machen und damit zu mehr Resilienz nach der Krise führen«. Deutschland müsse jetzt einen Technologie-Sprung schaffen, fordert im Fraunhofer-Interview Bayerns Ministerpräsident Markus Söder. Und der aktuelle Vorsitzende der Ministerpräsidentenkonferenz sagt: »Wir dürfen für die Wirtschaft jetzt nicht einfach den Reset-Knopf drücken.«

Für den Weg zu einem Neustart, für die Chance auf einen Aufbruch hat die Bundesregierung ein mutiges Konjunkturprogramm geschnürt – mit einem richtungswisenden Zukunftspaket, das 50 Milliarden Euro allein für Zukunftstechnologien und Klimaschutz bereitstellt, für die Stärkung von Wirtschaft und Forschung am Standort Deutschland, für strategisch entscheidende Technologiebereiche wie Quantencomputing, Künstliche Intelligenz und Wasserstoff als Energieträger der Zukunft. Ziel der Nationalen Wasserstoffstrategie werde es sein, so heißt es wörtlich als ein Ergebnis des Koalitionsausschusses, »Deutschland bei modernster Wasserstofftechnik zum Ausrüster der Welt zu machen«. Die Roadmap dazu haben Fraunhofer-Forschende erarbeitet.

Corona hat die Welt verändert. Die Erfahrung der Krise hat auch die öffentliche Meinung beeinflusst. Die Glaubwürdigkeit der Forschung hat nach einer im Juni veröffentlichten Repräsentativumfrage des Instituts für Demoskopie Allensbach deutlich zugenommen. 54 Prozent der Bevölkerung nehmen Naturwissenschaftler als wichtige Impulsgeber für die Zukunft wahr. Die Krise offenbart die Chancen. Freuen wir uns darauf, sie gemeinsam zu nutzen!

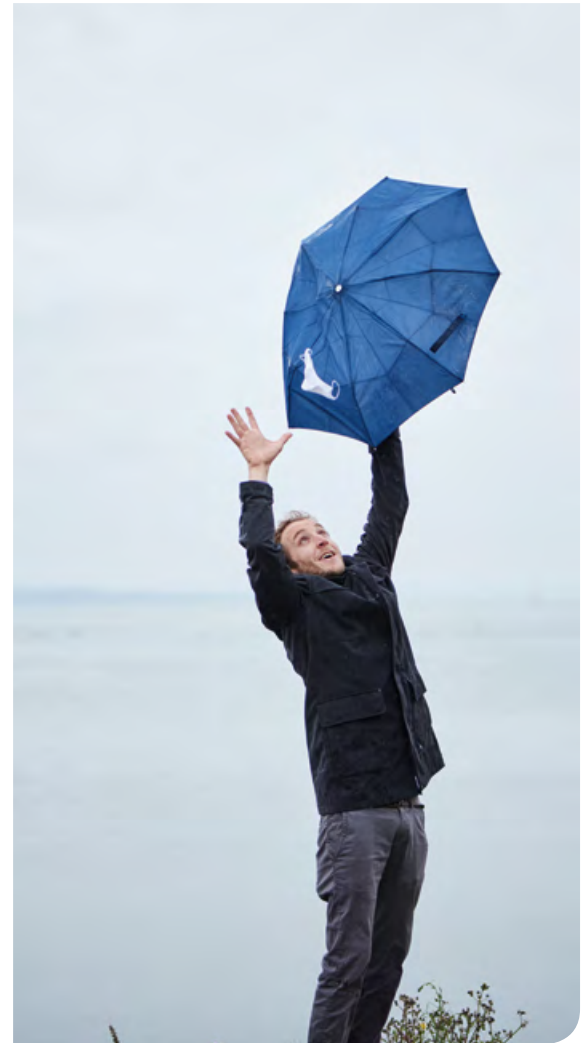
Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt

10 **Aufbruch nach dem Aus**

Gerade noch Lockdown, dann die Lockerung: Genau in dieser Umbruchzeit stellte dieses Fraunhofer-Magazin unter erschwerten Bedingungen die Fragen: Was macht die Wirtschaft, die Gesellschaft, was macht Systeme resilienter? Die Antworten gaben Fraunhofer-Forschende wie Dr. Florian Roth (im Foto am Bodensee).



03 **Editorial**

06 **Kurz gemeldet, Impressum**

10 **Titel: Krise & Chance – Aufbruch in die resiliente Gesellschaft**
Resilienz ist kein Zufall. Ein Fünf-Phasen-Plan verhilft zu besseren Entscheidungen in der Krise

26 **»Resilienz ist der Schlüssel, um die Vorteile der Globalisierung zu sichern«**
Gespräch mit Prof. Stephen E. Flynn

32 **»Wir müssen die Krise als Weckruf verstehen«**
Im Interview: Dr. Florian Roth, der Katastrophenrisiken erforscht – und ihre Vorbeugung

34 **Auszeit dem Klima zuliebe**
26 Millionen Deutsche glaubten, zu wenig Zeit zu haben. Dann war sie plötzlich da. Was tun damit?

38 **»Es geht um Geld und Leben«**
Harte Entscheidungen in schwierigen Zeiten: Wie die Mathematik helfen kann, erklärt Prof. Anita Schöbel

40 **Stimme aus der Wirtschaft**
Oliver Zipse, Vorsitzender des Vorstands der BMW AG, über Europas Stärken in Zeiten der Krise

42 **»Jetzt nicht einfach den Reset-Knopf drücken«**
Als Krisenmanager hat Ministerpräsident Markus Söder viel Anerkennung bekommen. Das Interview

46 **Corona auf der Spur**
Mehr Schnelligkeit dank digitaler Pathologie

48 **Neues Leben trotz Dürre**
Sommerzeit, Hitzezeit, Trockenheit: Wie Abwasser zum Quell neuer Hoffnungen für Landwirte wird

51 **Duft ja, Rauch nein!**
Grillen liegt im Trend. Und die Schadstoffe?

42 **Einem Schritt voraus**

Als Krisenmanager überzeugte Bayerns Ministerpräsident Markus Söder. Im Interview spricht er auch von dunklen Stunden – und über seine persönliche Resilienz.

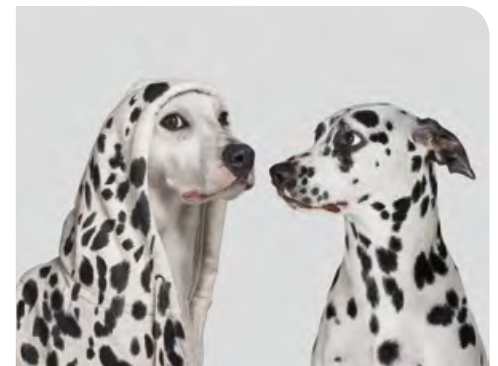


72 **5G – aber wofür?**

Schnell ist die neue Mobilfunk-Generation. Fraunhofer erforscht Anwendungsszenarien.

58 **Original? Fälschung?**

Der Kampf gegen Produktpiraten ist mühevoll – und wichtig!



60 **Müll im All**

Spektakulärer SpaceX-Start – zurück bleibt, wie jedes Mal, Weltraummüll. Das Fraunhofer FHR hilft beim Aufräumen.



54 **Fraunhofer weltweit**

56 **Lernen in neuen Dimensionen**

Nie war digitale Bildung so gefragt wie heute: Virtual Reality für Studierende

58 **Moderne Piraten**

Ideenklau schädigt den deutschen Maschinenbau wie nie zuvor. Es ist Zeit zu handeln

60 **Wo eine Schraube zur Handgranate wird**

Gefährliche Altlasten: 6500 Tonnen Schrott rasen um die Erde – und gefährden die Satelliten. Wie Fraunhofer beim Aufräumen im All hilft

64 **Handy-Desinfektion**

Vorsicht vor Billiggeräten

66 **Sicher leben in der digitalisierten Stadt**

Wie wir uns vor Cyberattacken schützen

68 **Smarte Chips statt bitterer Pillen**

Science-Fiction wird Wirklichkeit: Hoffnungsträger bioelektronische Medizin

70 **Heiße Musik – hier wird sie messbar!**

Wärmebildaufnahmen zeigen, wie sich die Berliner Philharmoniker warmspielen

72 **5G auf dem Prüfstand**

In welchen Anwendungsbereichen wird die neue Mobilfunktechnik die meisten Veränderungen ermöglichen können?

75 **Der Stoff für die Zukunft**

Die Welt braucht die Energiewende, die Energiewende braucht den Wasserstoff. 28 Fraunhofer-Institute bündeln ihre Energie

78 **Schnelle Hilfe für Verschüttete**

Erdbeben? Lawinen? Mobile Radargeräte durchsuchen große Bereiche schnell und gründlich

Nur 20 Prozent der Corona-Infizierten sind für **80 Prozent der Corona-Ansteckungen** verantwortlich, schätzen Epidemiologen. Die Corona-Warn-App, an der Fraunhofer-Forschende mitgewirkt haben, hilft, Infektionsketten nachzuvollziehen. **24 Stunden nach dem Start** hatten schon 6,5 Millionen Nutzer in Deutschland die App auf ihr Handy heruntergeladen, 14 Millionen waren es nach 14 Tagen.

80%

◦ Schäden effektiv begrenzen

Stürme, Brände, Riffe – kommen die immer größer werdenden Containerriesen in Seenot, kann das verheerende Folgen haben. Fraunhofer-Forschende sorgen dafür, dass Einsatzkräfte im Fall einer Havarie schnell und gezielt helfen können.

Das zentrale behördliche Meldesystem für den deutschen Schiffsverkehr »National Single Window (NSW)« wird zurzeit von Wissenschaftlern am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE erweitert und verbessert. Hier sind nur allgemeine, meldepflichtige Daten über Kraftstoffe und Gefahrgüter abrufbar, nicht aber, wo sich beispielsweise Gefahrgüter an Bord genau befinden und um was es sich dabei handelt – bei Schiffen mit Ladekapazitäten von bis zu 24 000 20-Fuß-Containern entscheidend zu wissen. Nur so kann das Havariekommando

schnell geeignete Maßnahmen einleiten und der finanzielle und ökologische Schaden so gering wie möglich gehalten werden.

Das Forschungsprojekt NSW-Plus will allen beteiligten Stakeholdern ermöglichen, relevante Informationen in das Meldesystem einzustellen und abzurufen. Die Fraunhofer-Forschenden haben ein Konzept entwickelt, mit dem die zusammengeführten Daten sinnvoll aufbereitet und gleichzeitig vor Cyberrisiken geschützt werden können. Ein bereits erstellter Demonstrator mit interaktiver Benutzeroberfläche erlaubt es den Einsatzkräften, das Schiff mit seiner Ladung aus unterschiedlichen Perspektiven (von oben, Bug-/Heckseite etc.) zu betrachten, durch die Ladeflächen über und unter Deck zu navigieren und dabei wichtige Informationen zu sammeln. Diese können situationsabhängig gefiltert und sortiert werden.

Das neue System hat sich bei einer groß angelegten Übung in Cuxhaven bereits bewährt und soll als Blaupause für andere europäische Länder dienen.



Dank der innovativen Entwicklung des Fraunhofer FKIE kann sich das Havariekommando rasch einen guten Überblick verschaffen. © ddp images

Gefäßstützen intelligent beschichten ◦

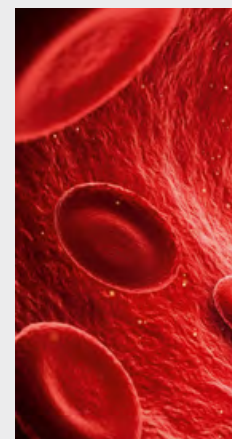
Stents sollen verengte Blutgefäße weiten. Durch optimierte Beschichtungen machen Fraunhofer-Forschende sie besser verträglich.

Stents sind feine, röhrenförmige Geflechte aus Edelstahl, die nach dem Einsetzen aufgedehnt werden. Sie halten die Blutbahn offen und verhindern so Herzinfarkt oder Schlaganfall. Bei etwa einem Viertel der Patienten treten jedoch durch eine Immunantwort unerwünschte Effekte auf – Entzündungen, eine Abstoßung des Fremdkörpers oder die Anlagerung von Gewebe. Die Folge: Das behandelte Blutgefäß verschließt sich wieder.

Um die Verträglichkeit der Stents zu erhöhen, werden sie von Herstellern zunehmend beschichtet, häufig mit Titanoxinitrid. Die chemische Zusammensetzung der Beschichtung, Oberflächenrauigkeit, Benetzbarkeit – alles spielt für die Biokompatibilität der Gefäßstützen eine Rolle. »Diese Parameter konnten wir gezielt anpassen, indem wir den Abscheidungsprozess technologisch weiterentwickelt haben«, sagt Dr. Natalia Beshchasna, Leiterin des Verbundforschungsprojekts am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden.

Üblicherweise werden die Titanoxinitrid-Schichten mittels Plasma erzeugt. Dafür wird unter Vakuum ein Titantarget mit Argon-Ionen beschossen, wodurch Atome herausgeschlagen werden. Zusätzlich leiten Beshchasna und ihr Team eine Gas Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff in die Vakuumkammer ein. Das optimale Mischungsverhältnis, so haben die Wissenschaftler ermittelt, liegt bei drei (Sauerstoff) zu fünf (Stickstoff).

Um zu testen, ob die Beschichtung der Belastung des vorbeiströmenden Blutes standhält, entwickelten die Forscherinnen und Forscher ein System, in dem die Stentoberfläche mit künstlichem Blutplasma umströmt wird – und zwar bei unterschiedlichen Temperaturen, Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten. Über zwei Monate lang unterzogen sie die Beschichtung dieser Prozedur – mit Erfolg. Die Projektpartner, zu denen neben dem Fraunhofer IKTS auch der polnische Stenthersteller Bolten, die russische Firma VIP Technologies und die University POLITEHNICA Bukarest gehören, planen jetzt die Vermarktung der innovativen Entwicklung.



Für Schwerhörige ist es problematisch, in Unterhaltungen mit mehreren Personen einzelne Sprecher herauszuhören. Experten sprechen vom »Cocktailparty-Effekt«. © Stocksy/F1 online

Gehirn an Hörgerät: Wer ist wichtig?

Wummernde Musik, klirrende Gläser, Stimmengewirr – was für die einen ein Partyvergnügen, ist für Schwerhörige ein Albtraum. Eine neue Hörhilfe macht damit Schluss.

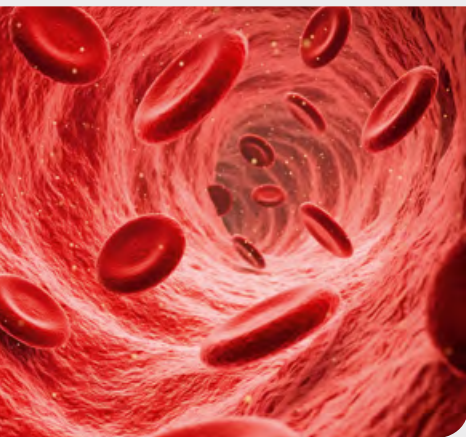


»Auch Highend-Hörhilfen können noch nicht die Quelle hervorheben, die der Schwerhörige gerade hören will, besonders, wenn zwei Personen gleichzeitig sprechen«, erklärt Dr. Axel Winneke, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologien IDMT in Oldenburg. »Über die Hirnaktivität kann man jedoch erkennen, wem der Schwerhörige zuhört. Das lässt sich per Elektroenzephalografie (EEG) messen.«

Zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung entwickeln Winneke und sein Team ein neues System, das EEG, Audiosignalverarbeitung und Elektrostimulation der Hörareale kombiniert. Der Trick: Eine Gehirn-Computer-Schnittstelle misst mittels EEG die Aktivität des Gehirns. Anhand der Daten lässt sich feststellen, auf welchen Sprecher der Hörgeschädigte seine Aufmerksamkeit richtet. Diese Information wird an das Hörge-

rät weitergeleitet, das dann ein Richtmikrofon – den sogenannten Beamformer – entsprechend justiert. Der Beamformer verstärkt das vom Hörer bevorzugte Audiosignal und blendet die unerwünschten Geräuschquellen aus. Eine dritte Komponente, die transkraniale Elektrostimulation (tES), regt mit diesem Signal die Hörareale zusätzlich elektrisch an.

Im Projekt wurde bereits in Designstudien visualisiert, wie die innovative Hörhilfe aussehen könnte. Das Design hat dabei den Anspruch, die Hörhilfe als positiven Zugewinn für den Träger zu inszenieren, entgegen einer immer noch weit verbreiteten Stigmatisierung. Künftig könnten die im Vorhaben entwickelten Komponenten inklusive Sensorik in einen tragbaren Bügel integriert werden. Denkbar ist auch, verfügbare Hörgeräte durch die neuen Module zu ergänzen und mit einem EEG-Sensor auszustatten.



Arterienverkalkung ist in den meisten Fällen der Grund für Engpässe in Blutgefäßen. Stents sorgen dafür, dass das Blut trotzdem ungehindert fließen kann. © istockphoto

Der Trick: Eine Gehirn-Computer-Schnittstelle misst mittels EEG die Aktivität des Gehirns.



Beim Fieber-Check kann bisher der Mindestabstand nicht eingehalten werden. © istockphoto

Gefahrlos messen

Ein neuartiges Verfahren hilft, Corona-Infizierte aus sicherem Abstand aufzuspüren.

Der »Access Checker« des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA misst Fieber, erhöhten Puls und schnellen Atem ohne denjenigen, der die Messung durchführt, zu gefährden. Der geforderte Mindestabstand von anderthalb bis zwei Metern kann problemlos eingehalten werden.

Das Verfahren ermittelt die Körpertemperatur mit einer Thermokamera, die Herz- und Atemfrequenz mithilfe von Mikrowellen. Ein Radarmodul mit Mikrodopplerverfahren kommt dabei zum Einsatz. Ein Team um den IPA-Mediziner Dr. Urs Schneider beschäftigt sich seit Jahren mit Arbeitsschutz, Medizintechnik, Bildverarbeitung und Objekterkennung. Die Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO sorgten für die ideale Prozessintegration der technologischen Innovation. Im Eiltempo bauten die Fraunhofer-Forscher einen Prototyp und testeten ihn am Haupteingang des Robert-Bosch-Krankenhauses in Stuttgart.

Das Interesse an dem mobilen »Access Checker« ist groß. Auch ein Patent ist angemeldet.

Wasserroboter soll Ertrinkende retten

Bademeister sind in Deutschland rar. Der weltweit erste Wasserrettungsroboter soll die Lücke schließen.

Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Ilmenau entwickelt in Kooperation mit der Bäder Halle GmbH einen schwimmenden Rettungsroboter, der Bademeistern in Zukunft unterstützend zur Seite stehen soll. Die Wissenschaftler haben mit DEDAVE bereits ein mehrfach prämiertes, autonomes Unterwasserfahrzeug konstruiert und verfügen im Bereich der Unterwasserrobotik über viel Know-how.



Der Wasserrettungsroboter soll zukünftig in Hallenbädern auf dem Beckenboden an einer Dockingstation ruhen. Dort wird er mit Daten versorgt, die Überwachungskameras an der Decke liefern. Diese beobachten die Schwimmenden und werten die Daten in Echtzeit aus. „Es gibt typische Körperpositionen, an denen man erkennt, dass sich jemand in Gefahr befindet“, erklärt Informatiker Helge Renkewitz, der das Projekt am Fraunhofer IOSB leitet und eng mit dem Wasserrettungsdienst in Halle zusammenarbeitet. Detektieren die Kameras einen Notfall, wird ein Bademeister in der Nähe alarmiert. Gleichzeitig fährt der Rettungsroboter zu der Person und hebt diese wieder an die Wasseroberfläche.

Termin für erste Versuche im Fraunhofer-Laborbecken ist im Juli. Im Herbst soll der Roboter in einem Schwimmbad in Halle mit Dummys getestet werden. Sind die Tests erfolgreich, planen die Forscher den Rettungsroboter für den Einsatz in freien Gewässern weiterzuentwickeln.

Das bionische Design, das an einen Rochen erinnert, soll den Rettungsroboter schneller und wendiger im Wasser machen.
© Wasserrettungsdienst Halle/Saale e.V.

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

Redaktionelle Mitarbeit: Dr. Janine van Ackeren, Marina Babl, Mandy Bartel, Christine Broll, Sirka Henning, Daniela Leitner, Eric Schütz (Zissue), Sabine Spinuarke, Mehmet Toprak, Britta Widmann.

Layout + Litho: Vierthaler & Braun
Titelbild: Philipp Horak für Fraunhofer
Druck: H. HEENEMANN GmbH, Berlin

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2020



Schonende Hilfe für Beatmungspatienten

Bei akutem Lungenversagen muss der Patient oft mit einer Herz-Lungen-Maschine beatmet werden. Neuartige Membranstrukturen sollen die Behandlung schonender machen.

»Wir konnten den Sauerstofftransport um das 4-Fache erhöhen.«

Wenn Patienten wegen Covid-19, eines Schlaganfalls oder anderer Erkrankungen nicht mehr selbstständig atmen können, kommt eine Beatmungsmaschine zum Einsatz. Das Blut wird in einem Kreislauf außerhalb des Körpers über Membranen mit Sauerstoff angereichert und Kohlendioxid abgeführt. Die künstliche Beatmung rettet Leben, ist aber für den Körper belastend und kann nur für kurze Zeit durchgeführt werden.

Spezielle Membranen, mit denen sich die Beatmungsunterstützung intensivieren lässt, entwickeln Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam. »Wir konzipieren die Membranen mit asymmetrischen Strukturen, die aufgrund ihrer Eigenschaften einen wesentlich schnelleren Gasaustausch ermöglichen als konventionelle, symmetrische«, sagt Dr. Murat Tutuş, Arbeitsgruppenleiter Membranen und Funktionale Folien am Fraunhofer IAP.

Anders als symmetrische Membranen, die in sich homogen sind, zeichnen sich die asymmetrischen durch ihre ungleichmäßige Porosität aus. Zur Trennschicht hin prägen kleine Hohlräume die Struktur, darunter befinden sich große, nach unten hin offene Hohlräume. Das Gas kann über die großen Hohlräume schneller in die Nähe der Trennschicht transportiert werden, wo es nur noch einen kurzen Weg zurücklegen muss und über eine ultradünne Schicht in das andere Medium übertritt.

Tutuş und sein Team nutzten verschiedene Polymere, um der Membran die gewünschte Struktur zu geben. »Wir konnten den Sauerstofftransport um das Vierfache erhöhen. Dabei zeigten die von uns hergestellten Membranen eine Druckstabilität von sieben bis zehn Bar.« Im nächsten Schritt wollen die Fraunhofer-Forschenden die innovativen Membranen verkleinern, um sie in der Aorta platzieren zu können und so die Sauerstoffanreicherung direkt im Körper zu ermöglichen.



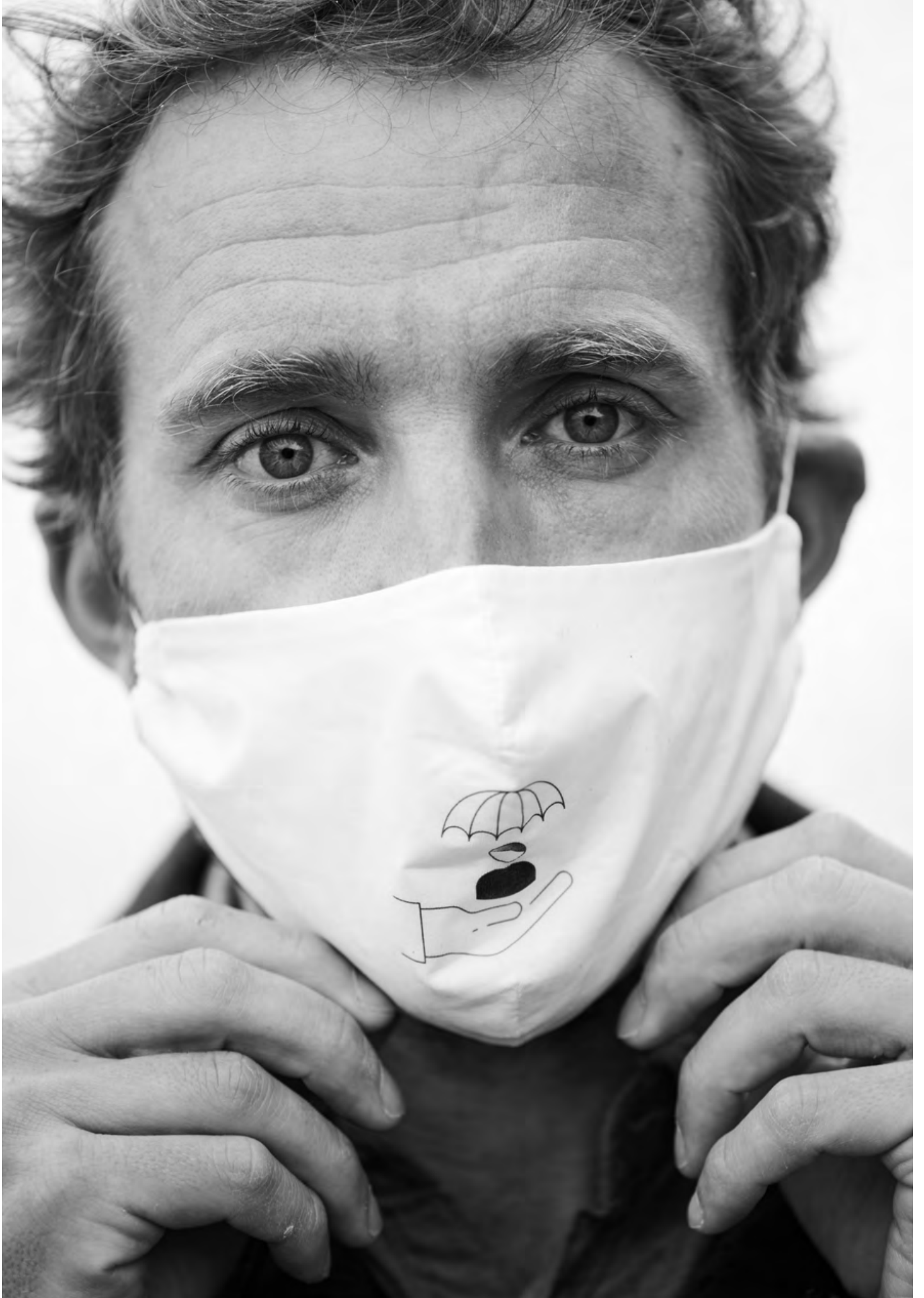
Patientinnen und Patienten, die mit einer Herz-Lungen-Maschine beatmet wurden, müssen anschließend das Atmen aus eigener Kraft erst wieder lernen. © istockphoto

In der Krise & nach der Krise

»Will ich, dass alles wieder wird wie zuvor, oder bin ich auch bereit, mich auf etwas Neues einzulassen?« Dr. Florian Roth



Dr. Florian Roth erforscht am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI Katastrophenrisiken und sucht Lösungen, wie man ihnen am besten vorbeugt. Konjunkturzyklen, so sagt er, sei seine Forschung gewöhnt.





Daten & Denken

»Es geht um Geld *UND* Leben. Es nützt auch der Wirtschaft, die Epidemie schneller einzudämmen, als über Jahre hinweg mit wechselnden Maßnahmen zu versuchen, den Reproduktionsfaktor gering zu halten.« Prof. Anita Schöbel



Prof. Anita Schöbel,
Leiterin des Fraunhofer-Instituts für
Techno- und Wirtschaftsmathematik.
Der Mathematikerin aus Leidenschaft
waren die Formeln wichtig, die sie sich
für ihre Maske selbst ausgesucht hat. Sie
entstammen verschiedenen Gebieten der
angewandten Mathematik und zeigen die
Vielfalt der Anwendungen und die Vielfalt
der angewendeten Methoden.



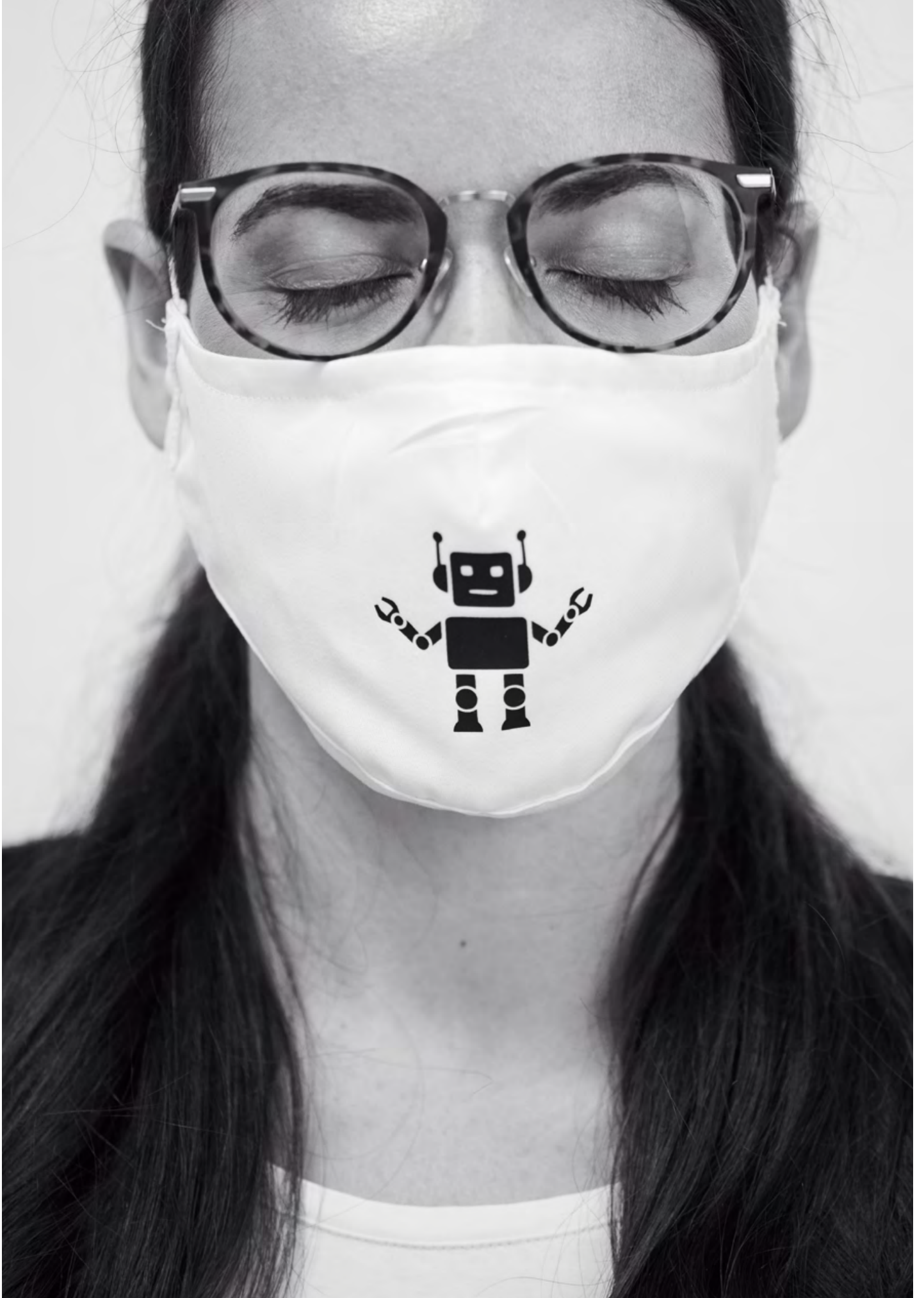
Messen & Machen

»Resilienz ist kein Zufall. Man kann sie strategisch planen. Fünf Phasen gehen fließend ineinander über: Prepare, Prevent, Protect, Respond und Recover.« Dr. Alexander Stolz



Dr. Alexander Stolz

weiß, wie man Systeme widerstandsfähig macht. Im Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI leitet der Ingenieur die Abteilung Sicherheitstechnologie.



Robotik & Reaktionsschnelligkeit

»Cobots lassen Schutzzäune hinter sich. Sie bieten die große Chance, Produktionssysteme flexibler zu gestalten.«

Titanilla Komenda



Titanilla Komenda

ist Robotik-Ingenieurin bei Fraunhofer Austria. Sie erwartet, dass durch die Krise Automatisierung und Robotik einen großen Schub erhalten werden.

Krise & Chance

>>> Aufbruch in eine resiliente Gesellschaft

Nach Lockdown, Bangen und Hoffen wird Aufbruchstimmung spürbar. Aus der Corona-Schwäche kann neue Stärke werden. Wie können wir in unserer vernetzten Welt Krisen nicht nur meistern, sondern an ihnen wachsen?

Selten hat ein Ereignis so viele Menschen so unmittelbar betroffen. Die Einschnitte in Beruf und Privatleben: spürbar. Die Veränderungen im Zusammenleben der Gesellschaft: erlebbar. Die Beschädigungen der globalen Wirtschaft: berechenbar. Das Ausmaß und die Dynamik der Erschütterungen, die das Coronavirus SARS-CoV-2 auf der ganzen Welt ausgelöst hat, haben selbst Experten überrascht. »Die Schnelligkeit, mit der diese Krise von einer lokalen zu einer globalen heranwuchs, hat uns mit Nachdruck gezeigt, wie verwundbar unsere Welt in ihrer Komplexität und Vernetztheit ist – und wie schlecht sie auf solche Situationen vorbereitet ist«, sagt Dr. Alexander Stolz. Seit zehn Jahren erforscht er am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI im baden-württembergischen Efringen-Kirchen die Widerstandsfähigkeit von Systemen gegen Katastrophen aller Art. Die Monate mit dem Coronavirus haben dem Ingenieur deutlich gezeigt: In Notlagen, die in so vielen Bereichen spürbar, für jeden Einzelnen erlebbar und in ihren Folgen auf so vielen Ebenen berechenbar sind, braucht Widerstandsfähigkeit Strategie: Resilienz muss messbar sein.

Bestandsaufnahme. Innerhalb weniger Wochen verbreitete sich das neue Coronavirus über den Globus und führte in vielen Ländern zum Stillstand des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens. Im April 2020 hatten 178 Länder Reisebeschränkungen in Kraft gesetzt, 157 ihre Schulen geschlossen und 145 Staaten Quarantäne und Lockdown-Maßnahmen verhängt. Die Unternehmensberatung McKinsey errechnete, dass die deutsche Wirtschaft während des Lockdowns im April Einbußen von 15 Milliarden Euro verzeichnete – pro Woche. Mit einem Verlust von vier Milliarden Euro entfiel ein Großteil davon auf das produzierende Gewerbe, vor allem Auto-, Maschinen- und Anlagenbau, gefolgt von Gesundheits- und Sozialwesen (1,6 Milliarden Euro), Großhandel (1,1 Milliarden Euro), Hotellerie und Gastronomie (900

Millionen Euro) sowie Kunst und Unterhaltung (800 Millionen Euro). Für das Jahr 2020 prognostiziert die EU-Kommission einen Einbruch der EU-Wirtschaftsleistung von 7,4 Prozent, wobei Deutschland mit einem Minus von 6,5 Prozent weniger hart getroffen würde als Frankreich und Italien. Um die Folgen zu überwinden, stellt die EU Rekordsummen zur Verfügung.

Nach Schätzungen von McKinsey würde es dennoch bis 2028 dauern, bis Deutschland wieder den Wachstumspfad erreicht, den es ohne die Pandemie gegangen wäre. Unter einer Voraussetzung: Das Land muss die Chance nutzen und den digitalen Strukturwandel vorantreiben. Die Erfolgsaussichten dafür stehen gut. Viele Unternehmen haben ihre Prozesse Covid-19-bedingt im Zeitraffer digitalisiert. Wo oft jahrelang Bedenken gewälzt wurden, wurde nun einfach – gemacht. Der Microsoft-Vorstandsvorsitzende Satya Nadella brachte es auf den Punkt: »Wir haben zwei Jahre digitale Transformation nun innerhalb von zwei Monaten erlebt.«

Doch dies ist nicht der einzige gesellschaftliche und wirtschaftliche Transformationsprozess, der nun an Fahrt gewinnen kann. Denn die Corona-Zeit hat uns so klar wie nie die Schwachpunkte unseres Systems, aber eben auch die Chancen vor Augen geführt. »Der konjunkturpolitische Neustart der deutschen Wirtschaft muss in erster Linie eine Transformation in Richtung Nachhaltigkeit fördern, die gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit essenziell stärkt«, fordert Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer. Für Kanzlerin Merkel ist die zentrale Lehre aus den letzten Monaten die »stärkere strategische Souveränität Europas«. Bestehende Abhängigkeiten zu überdenken, fordert auch Neugebauer. »Das Ziel ist nicht die Autarkie, sondern die souveräne Entscheidungsfreiheit. Und Souveränität ist neben einer klugen Politik von der wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und sozialen Leistungsfähigkeit einer Gemeinschaft abhängig.« ▶

»Das Ziel ist nicht die Autarkie, sondern die souveräne Entscheidungsfreiheit.«

Prof. Reimund Neugebauer



Tröpfchen & Infektion

Der Karl-Valentin-Brunnen steht seit 1953 auf dem Münchner Viktualienmarkt – im Frühjahr 2020 mit weiß-blauer Rautenmaske. Gerade zur Corona-Zeit gelten Sätze des legendären Komikers: »Die Zukunft war früher auch besser.« Oder aber: »Jedes Ding hat drei Seiten – eine positive, eine negative und eine komische.«
© Josef Seitz

»Resiliente Organisationen verfügen über Redundanzen und breit gestreute Ressourcen, können sich selbst organisieren, rechnen mit Unvorhersehbarem und sind flexibel in ihren Prozessen.«

Dr. Florian Roth

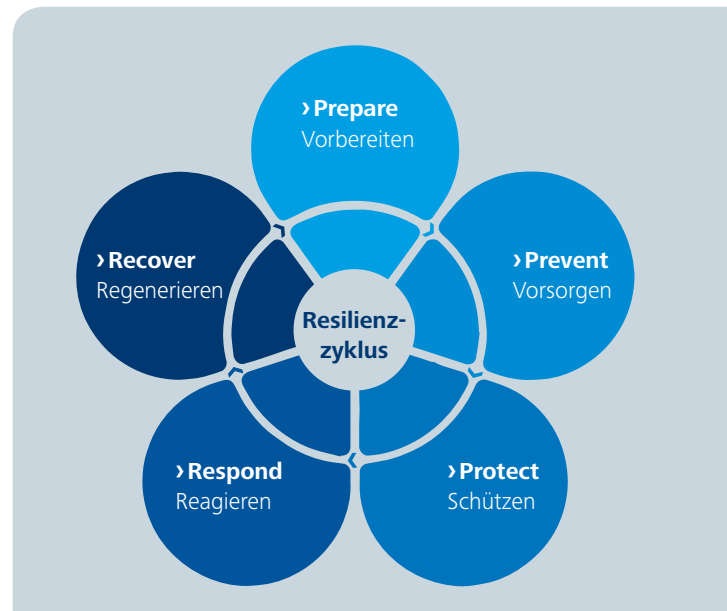
► **Der Indikator dafür**, ob und wie Organisationen und Gesellschaften kritische Situationen technologisch, sozial und wirtschaftlich souverän meistern, ist ihre Resilienz. »Resiliente Organisationen und Systeme haben gemeinsam, dass sie Wert auf Redundanzen legen, über breit gestreute Ressourcen verfügen, sich selbst organisieren können, auch mit unvorhergesehenen Ereignissen rechnen, sich auf die eigenen Fähigkeiten und Stärken fokussieren und flexibel in ihren Prozessen sind«, fasst Florian Roth, Innovations- und Resilienzforscher am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe zusammen (siehe auch Interview S. 32). Dabei kommt es darauf an, nicht einfach wie im Wortsinn (lateinisch: resilire) an einer Widrigkeit »abzuprallen« und in den ursprünglichen Zustand »zurückzuspringen«. Wenn wir die Widerstandsfähigkeit unseres Systems stärken wollen, müssen wir die Dynamik nutzen und den Sprung nach vorne wagen. »Bounce forward« nennt das Roth.

Resilienz ist seit vielen Jahren Forschungsgegenstand der Psychologie und Ingenieurwissenschaften, der Sozial- und Materialwissenschaften, in Ökonomie und Ökologie. Angesichts der Komplexität des Themas kann es helfen, die analytische Vorgehensweise der Ingenieurwissenschaft heranzuziehen. Denn »Resilienz ist kein Zufall – man kann sie strategisch planen«, sagt Alexander Stolz: »Mit dem Ansatz des Resilience Engineering entwickeln wir Maßnahmen und Methoden, um vor, während und nach einer Krise die besten Entscheidungen fällen zu können. Dafür teilen wir ein großes Schadensereignis in fünf Phasen ein, die fließend ineinander übergehen: Prepare, Prevent, Protect, Respond und Recover.«

► Prepare

Wie können sich Unternehmen und Staaten vorbereiten?

Die erste Voraussetzung ist: Resilienz braucht die richtige Kultur und Akzeptanz. Das gilt für Staaten genauso wie für Unternehmen. Denn Resilienz funktioniert nicht ohne zusätzliche Kosten und Ressourcen. Das ist der Kernkonflikt, vor dem jede Organisation steht, die sich krisenfest machen

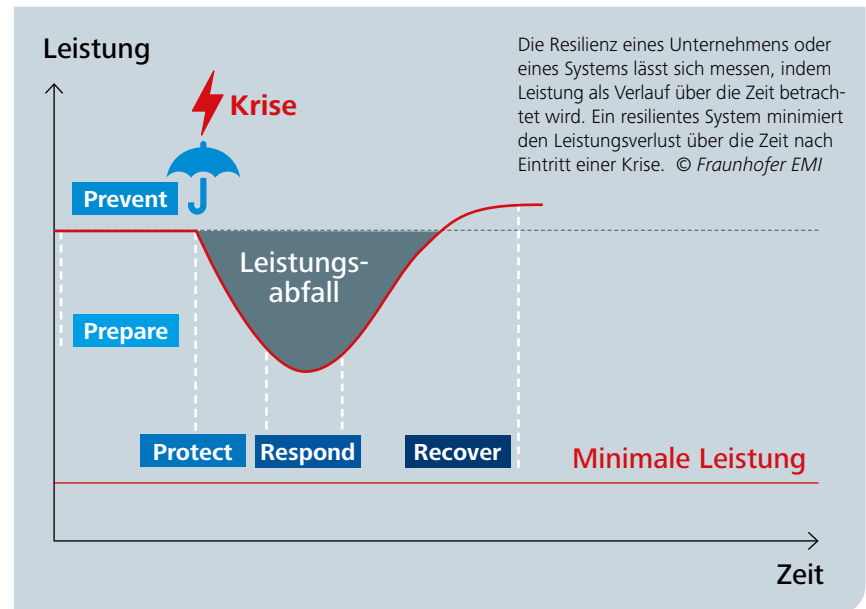


will: der Spagat zwischen Effizienz und Resilienz. Sowohl Unternehmen als auch Gesellschaften tendieren dazu, im Normalfall nicht benötigte Strukturen aus Kostengründen abzubauen – seien es Intensivbetten oder die Vorratshaltung an Schutzausrüstung. Doch was Luxus in normalen Zeiten ist, rettet Leben im Ausnahmezustand. Dass Vorsorge immer günstiger ist als eine unvorbereitete Reaktion, zeigten jüngst kaputtgesparte Gesundheitssysteme in Italien, England oder den USA genauso wie zusammengebrochene Lieferketten allerorten. Stolz ist überzeugt: »Dieser Spagat lässt sich am besten meistern, wenn man ein Maß hat, an dem man sieht: So viel Resilienz gewinne ich, wenn ich so viel investiere. Resilienz muss messbar sein.« Das Resilience Engineering bietet so ein Werkzeug. »Man kann auf einer Leistungs-Zeit-Kurve zum Beispiel den Leistungsabfall eines Unternehmens in einer Krise unter verschiedenen Bedingungen oder Maßnahmen berechnen. Im Vergleich der Ergebnisse zeigt sich dann, welche Option die resilientere ist.«

Um das Optimum zu finden, sollten sich Unternehmen neben einer klassischen Stärken-Schwächen-Analyse auch folgende Fragen stellen: In welchem Maß muss ich im Ernstfall meine Kernfunktionalität aufrechterhalten und welcher Mindesteinsatz ist dafür nötig? Das kann beispielsweise die Ausstattung aller Mitarbeitenden mit Laptops fürs Homeoffice sein oder die Vorratshaltung wichtiger Produkte. Es ist zu überlegen: Auf welche Zulieferer bin ich angewiesen, welche Alternativen gibt es? Auf welche Ressourcen kann ich zurückgreifen, wo Redundanzen aufbauen? Welche Prozesse

Moderne Sicherheit bedeutet Resilienz

Im Resilience Engineering werden Maßnahmen und Methoden entwickelt, um vor, während und nach einer Krise die besten Entscheidungen zu fällen. Ein Schadensereignis wird dabei in fünf Phasen eingeteilt. Davor gilt es, sich bestmöglich vorzubereiten (**Prepare**) und vorbeugende Maßnahmen (**Prevent**) zu treffen. Tritt die Katastrophe ein, geht es darum, sich zu schützen (**Protect**), drastische Konsequenzen abzumildern und kritische Versorgungsfunktionen aufrechtzuerhalten (**Respond**). Nach der Krise müssen alle Dinge schnell wieder zum Laufen gebracht (**Recover**) und durch systematisches Lernen die Lehren aus der Krise gezogen werden.



muss ich im Fall des Falles genau beobachten? Sind beispielsweise Unterschriftenprozesse breit genug aufgestellt, falls Personal ausfällt? Bei all dem geht es nicht darum, das System zu 100 Prozent ausfallsicher zu machen, sondern sich darauf vorzubereiten, zum richtigen Zeitpunkt richtig zu handeln. Stolz weiß: »Oft zeigt sich, dass eine kleine Investition in die Vorbereitung große Kostenersparnisse und weniger Einbußen im Krisenfall bringt.« Am Ende steht im Idealfall ein Maßnahmenkatalog, auf dessen Grundlage man im Problemfall kritische Prozesse überwachen und optimal reagieren kann.

Wichtig für die Vorbereitung sind Szenarien. Das »Was wäre wenn«-Gedankenspiel ist für Organisationen und Gesellschaften strategischer Bestandteil eines Krisenplans. Tatsächlich gab es in den vergangenen Jahren in Deutschland und Europa sogar mehrere Szenarien und Krisenpläne speziell für Pandemiefälle. Wie hilfreich diese letztlich waren, wird noch auszuwerten sein. Innovationsforscher Roth warnt vor dem Fehler, das Szenario mit dem Risiko selbst zu verwechseln: »Konzentriert man sich auf ein Szenario, glaubt man schnell, auf die ganze Gefährdung gut vorbereitet zu sein. ▶

Ring & Rolle

Die Corona-Pandemie hat manchen Wert verschoben – manchmal sogar die Werteskala in Richtung WC. Über den Run aufs Klopapier zu Beginn der Krise macht sich in Berlin ein Graffiti-Künstler lustig mit dem »Herr der Ringe«-Charakter Gollum. Der sucht hier den Sinn nicht im Ring, sondern in der Rolle. © Getty Images



► Das ist ein Trugschluss. Viel wichtiger ist ein gewisser Grad der Abstraktion.« So ist es für ein Unternehmen zum Beispiel zielführend, sich auf den Fall vorzubereiten, dass 50 Prozent der Belegschaft nicht vor Ort arbeiten können – ob wegen einer Pandemie, eines Unwetters oder Systemausfalls ist dabei nebensächlich. »Wenn man viele Szenarien durchspielt, zeigen sich oft die gleichen kritischen Punkte«, ergänzt Ingenieur Stolz. Dieses Durchdenken der Möglichkeiten ist übrigens auch für jeden Einzelnen ratsam, um vorbeugende Maßnahmen für den Ernstfall zu treffen, empfiehlt Stolz. »Jeder sollte sich fragen: Wie gut bin ich auf einen mehrtägigen Ausfall von Strom- oder Wasserversorgung vorbereitet? Oder: Kann ich mich in einer zweiwöchigen Quarantäne gut versorgen?«

»Die enge Kooperation mit Zulieferern bis hin zur Teilung von Ressourcen wie Personal und Wissen ist das wirksamste Mittel, um Lieferketten widerstandsfähiger zu machen.«

Prof. Julia Arlinghaus

Wie können wir unsere Industrie und Lieferketten stärken?

Die Pandemie hat gezeigt, wie abhängig wir bei der Versorgung mit wichtigen Gütern sind. Das betrifft nicht nur Medikamente oder Schutzmasken, sondern nahezu jeden Industriezweig. 27 Prozent aller Elektroimporte hierzulande kamen 2019 aus China. Grundstoffe für Antibiotika werden heute fast ausschließlich in der Volksrepublik produziert. Laut einer Befragung des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau VDMA im Mai litt fast jedes zweite Unternehmen unter gravierenden Störungen der Lieferketten. Neben behördlich angeordneten Fabrikschließungen fehlten vielerorts Mitarbeitende wegen Krankheit, Quarantäne oder geschlossener Grenzen. Zudem brachten kilometerlange Grenzstaus die Just-in-time-Fertigung schon nach ein, zwei Tagen Verzögerung erheblich ins Stocken.

Resiliente Lieferketten sind das Forschungsfeld von Prof. Julia Arlinghaus, die das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg leitet. 2017 führte sie eine Studie zu deren Widerstandsfähigkeit durch. Schon damals gaben knapp 57 Prozent der befragten 200 Unternehmen an, in den vergangenen fünf Jahren massive Störungen in der Lieferkette verzeichnet zu haben, die existenzbedrohendes Potenzial hatten. Die Warnung wäre wahrnehmbar gewesen. Das Problem liegt vor allem in der Komplexität der Lieferketten, für die es jedoch gleichzeitig gute Gründe gibt: Die Unternehmen konzentrieren sich auf ihre Kernkompetenzen, vermeiden teure Lagerbestände im Vergleich zu günstigeren Transportkosten und profitieren von der Arbeitsteilung mit Zulieferern. Deshalb ist die Produktionsexpertin überzeugt, dass diese Krise nicht, wie oft heraufbeschworen, das Ende der Just-in-time-Fertigung einläuten, sondern im Gegenteil die Bedeutung der Effizienzsteigerung noch verstärken wird. »Eine Rückverlagerung der Produktion wird es nur geben, wenn der Staat dies fordert und fördert und die Kunden bereit sind, für eine höhere Verfügbarkeit mehr zu zahlen. Denn das geht immer einher mit Effizienzverlusten«, sagt die Forscherin und fügt hinzu: »Ich bin überzeugt davon, dass etwa der Klimawandel mittel- und langfristig die Lieferkettenstrukturen unserer Industrie viel stärker beeinflussen

wird als diese Pandemie. In dem Moment, wo wir Umweltkosten bepreisen und damit die Transportkosten steigen, werden sich die Lieferketten drastisch verändern.«

Kurzfristig werden Unternehmen jedoch mehr in die Transparenz der Materialflüsse investieren und in das Werkzeug dafür, die Digitalisierung. Denn häufig wüssten Firmen heute kaum mehr als die Rechnungsadressen ihrer zuliefernden Betriebe. Diese Transparenz schafft nicht nur einen besseren Überblick, woher die Waren bezogen werden. Sie hilft, Risiken besser zu bewerten. Die Studie hat noch eine weitere Maßnahme aufgezeigt, die Lieferketten resilienter machen kann: Kooperation. Je enger Unternehmen mit ihren Zulieferern zusammenarbeiten und Ressourcen wie Know-how, Personal oder Maschinen teilen, desto weniger anfällig sind sie für Ausfälle. »Dahinter steckt die Idee sich selbst heilender Netzwerke«, erläutert Arlinghaus. »Es kann sogar Sinn machen, in schwierigen Situationen mit der Konkurrenz zusammenzuarbeiten, um ganze Lieferketten zu schützen.« Die Vorteile solcher Kooperation sind klar. Doch die wenigsten Unternehmen setzen sie konsequent um, wie die Studie ebenfalls zeigt. »Oft scheitert es schlicht am fehlenden Vertrauen oder der Unsicherheit, wer die Koordinatorenrolle in schwierigen Situationen übernehmen soll«, weiß die Forscherin.

Das fragile Gleichgewicht zwischen Kosten und Resilienz von Lieferketten erforscht auch das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern. Die Leitfrage ist: Wie lassen sich mögliche Versorgungslücken kleinhalten bei nur wenig erhöhten Kosten? Mit Algorithmen können die Forschenden eine optimale Balance zwischen Kosten und Risiken in der Lieferkette finden. Miteinbezogen in die Berechnungen werden zum Beispiel Faktoren wie Ausfallrisiko bestimmter Rohstoffe, alternative Materialien oder eine Lagerhaltung kritischer Produkte. Dabei zeigt sich immer wieder: Bereits mit einem kleinen Kostenanstieg lässt sich viel Risiko umgehen.

Was für ein Unternehmen schon herausfordernd ist,

wird für ein ganzes Land zur Mammutaufgabe: sichtbar zu machen, wo es zu Lieferschwierigkeiten kommen kann, wenn ganze Regionen oder Länder abgeriegelt werden müssen. Dass Informationen zu Warenflüssen und Lagerkapazitäten dezentral und uneinheitlich bei einzelnen Unternehmen liegen, macht es Staaten nahezu unmöglich, sich einen Überblick zu verschaffen und Versorgungsrisiken frühzeitig zu erkennen. Fraunhofer Austria will das ändern: Im Auftrag der österreichischen Regierung vereinheitlichen die Expertinnen und Experten als Unterstützung des Koordinationsstabs des staatlichen Krisen- und Katastrophenschutzmanagements alle wesentlichen Logistikdaten der Kooperationspartner und bereiten sie für Berechnungen auf. Aus den erhobenen Daten erstellen die Forschenden derzeit einen standardisier-

ten Datenpool und machen Handelsbeziehungen auf einem Dashboard sichtbar. Parallel dazu arbeiten Forschungspartner an mathematischen Modellen, um Warenflüsse und Lagerhaltung zu optimieren. Ziel ist es, künftig kritische Punkte in der Lebensmittelversorgung früher zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

› Prevent

Wie kann man das Schlimmste verhindern?

Der Fluch der Vorsorge ist: Sie rettet Leben, bringt aber wenig Anerkennung. Wie wichtig sie ist, wurde in den letzten Monaten sichtbar. »Hätten wir die Ausbreitung des neuen Coronavirus weltweit frühzeitig konsequent beobachtet, hätte das viele Prevent-Maßnahmen erleichtert – von einer frühzeitigen Verschärfung der Einreisebestimmungen über eine Ausweitung der Gripeschutzimpfungen, um die Grippe- und Corona-Welle zu entkoppeln, bis hin zur Vorratshaltung an

Schutzmasken oder Medikamenten«, ist sich Alexander Stolz sicher. Dem richtigen Monitoring kommt also in dieser Phase eine große Bedeutung zu. Allein ein gutes Frühwarnsystem nutzt jedoch nichts, wenn die Informationen nicht richtig bewertet werden. So ging die erste Warnung zu einer unbekannteren Lungenkrankheit in China bereits am 31. Dezember 2019 über das internationale Frühwarnsystem ProMED unter anderem ans Robert-Koch-Institut. Bis zu den ersten Maßnahmen hierzulande vergingen dennoch 78 Tage.

Um in der Masse an Daten die relevanten Informationen zu finden, bedarf es nicht nur effizienter Software- und KI-Lösungen, sondern auch einer hilfreichen visuellen Aufbereitung. Solche nützlichen Werkzeuge für Mediziner, Epidemiologen oder Gesundheitsämter entwickelt das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt. Dazu zählen zum Beispiel visuelle Datenanalyse-Tools für Populationsstudien sowie Aufbau und Vergleich von Patientenkohorten. ▶

Von der ersten Warnung vor einer noch unbekannteren Lungenkrankheit bis zu den ersten Maßnahmen vergingen 78 Tage.



Beten & Besinnen

Draußen vor den Pforten der Kirche St. Pankratius in Hamm herrscht Corona, drinnen hat sich Pastor Klaus-Martin Pothmann mit seiner Gemeinde fast voll besetzte Bänke geschaffen. Offensichtlich tut er alles, um die Herrschaft nicht an das Virus zu verlieren. Schließlich heißt »Pankratius«: »Der alles Beherrschende«. © Getty Images

► Nicht immer gelingt eine lückenlose Datenerfassung. Wo sich nicht auf vorhandene Daten zurückgreifen lässt, liefert die Mathematik hilfreiche Werkzeuge, um wichtige Fragen zu beantworten (siehe auch Interview auf Seite 38). Im Fall einer Pandemie: Wie wird sich die Infektion ausbreiten und welche Maßnahmen sind angemessen und wirkungsvoll? Eine große Unbekannte in der Corona-Gleichung ist die Dunkelziffer. Sie hilft nicht nur, unterschiedliche Sterblichkeiten zu erklären, sondern auch für Prognosen über die weitere Entwicklung und zu treffende Maßnahmen. Forschende am Fraunhofer ITWM überarbeiteten ein ursprünglich für die Fahrzeugentwicklung genutztes statistisches Modell, um die Dunkelziffer der Infizierten in unterschiedlichen Ländern zu ermitteln. So ließen die Berechnungen Ende April 298 000 unentdeckte Infektionen in Deutschland vermuten, inklusive 40 Prozent asymptomatischer Fälle.

»Die Grundvoraussetzung dafür, um Resilienz zu vermitteln, erfolgreich umzusetzen und zu kommunizieren, ist, sie messbar zu machen.«

Dr. Alexander Stolz

Um die verantwortlichen Stellen bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen, entwickelten die Mathematikerinnen und Mathematiker in Kaiserslautern zudem ein spezielles Simulationsmodell. Es verwendet zeitlich variable Parameter, die aus den erhobenen Fallzahlen geschätzt und mit weiteren statistischen Daten abgeglichen werden. Damit lässt sich die Wirkung von Maßnahmen auf die Infektionsrate beurteilen. Auf diese Weise konnten die Forschenden, gemeinsam mit Max-Planck, Helmholtz und Leibniz, im April anhand unterschiedlicher mathematischer Modellierungen die erfolgversprechendste Strategie in der Pandemie errechnen: die konsequente Eindämmung von Neuinfektionen, bis es möglich ist, Kontakte effektiv nachzuverfolgen, und im Anschluss ein adaptives Vorgehen, bei dem neue Fälle rückverfolgt und kontakteinschränkende Maßnahmen nachgesteuert werden können.

Carrara & Corona

Aus 14 200 Tonnen weißem Carrara-Marmor besteht der schiefe Turm von Pisa. Das 55 Meter hohe UNESCO-Weltkulturerbe war selten so einsam wie im Jahr 2020 – auch wenn Sanitätsdienste in Schutzkleidung alles getan haben, um auch eine fast menschenleere Piazza dei Miracoli nach Kräften virenfrei zu halten. © Getty Images



› Protect

Wie lassen sich wichtige Infrastrukturen schützen?

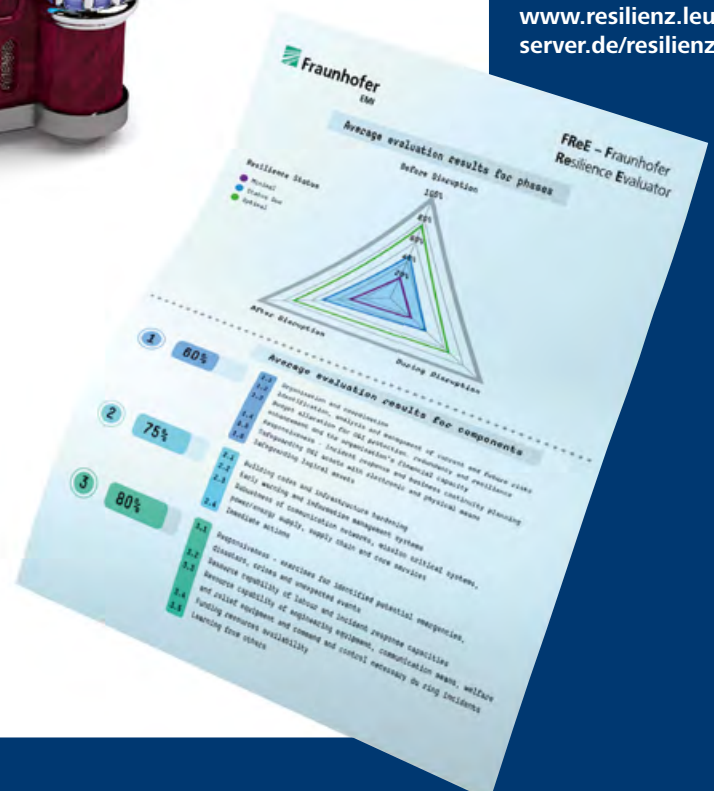
Das Virus hat gezeigt, wie verletzlich unsere Gesellschaft ist. Doch es gibt viel mehr Verwundbarkeiten: Bei kritischen Basisinfrastrukturen wie Energie- und Trinkwasserversorgung, Informations- und Kommunikationstechnologien oder dem Transport- und Verkehrswesen können selbst kleine Störungen zu einer Kettenreaktion und damit gravierenden Schäden führen. Da es kaum eine Chance gibt, diese Systeme vor allen denkbaren Bedrohungsszenarien zu schützen, plädiert Alexander Stolz für einen Perspektivenwechsel: »Um Resilienz, flexible Prozesse und Improvisationsvermögen zu trainieren, müssen wir ein gewisses Maß an Unsicherheit zulassen.« An die Stelle von Security by Design muss Resilience by Design treten, um auch für unvorhergesehene Situationen gewappnet zu sein.

Die Fähigkeit, sich selbst helfen zu können, macht Systeme widerstandsfähiger. Wie sich biologische Prinzipien der Selbstheilung auf vernetzte technische Systeme in der Industrie übertragen lassen, erforscht das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Nach dem Vorbild der Natur wollen die Forschenden die Autonomie dieser Systeme durch Integration von Resilienz steigern. Dazu verpassen sie ihnen ein künstliches Immunsystem. »Unsere Forschung konzentriert sich auf die Mechanismen des adaptiven Immunsystems«, erklärt Projektleiter Michael Hillebrand. »Konkret nutzen wir sogenannte dendritische Zellen und die Gefahrentheorie für das Monitoring von autonomen Robotern oder Automatisierungsanlagen. Diese Zellen spüren Gefahren in einem System anhand von Signalmustern auf. Da in offenen, autonomen Systemen nicht alle Signale und Reaktionen explizit und a priori programmiert werden können, nutzen wir einen Algorithmus, der gefährliche Muster erkennt. Diese Signale klassifiziert er in bekannt/ungefährlich, unbekannt oder bekannt/gefährlich. Die Signale sind gekoppelt an einen Monitor, der den Gesundheitszustand der Anlage erfasst. So lernt das System quasi selbstständig online, welche Muster dazu geführt haben, dass zum Beispiel seine Leistungsfähigkeit abnimmt, und reagiert entsprechend. Diese »Immunantwort« erfolgt durch sogenannte T-Zellen, die gleichzeitig lernen, welche Recovery-Operation erfolgreich war.« Auf diese Weise ließe sich auch anderen Systemen die Hilfe zur Selbsthilfe beibringen. ►

Der Resilienz-O-Mat

Wie krisenfest ist meine Organisation tatsächlich? Um dies zu beurteilen, kann der kostenlose »Fraunhofer Resilience Evaluator« eine erste Orientierung geben. Der geschickt aufgebaute Fragenkatalog führt durch etwa 50 Fragen und zeigt Unternehmen, wie es in den einzelnen Phasen um ihr Resilienzmaß bestellt ist. Ähnlich wie ein Wahl-O-Mat lässt er sich über eine flexible Bewertungsmatrix individuell an Prioritäten anpassen. Am Ende erhalten Firmen nicht nur eine Übersichtsgrafik mit ihrem Status quo. Sie sehen auch unmittelbar, welche Maßnahmen bei einer höheren Wertung einen direkten Zuwachs an Resilienz bringen. Dies kann als erster Überblick dienen. Für einen umfassenden Resilienzcheck bedarf es allerdings einer tieferen Analyse der spezifischen Organisationsprozesse und Randbedingungen.

Mehr Informationen:
www.resilienz.leute.server.de/resilienz



»Mit einer Cyber-Resilienz-Strategie helfen wir Organisationen dabei, im Fall eines Cyberangriffs handlungsfähig zu bleiben.«

Kai Pervölz,
Fraunhofer IAIS

► Auch wenn die Pandemie die meisten kritischen Infrastrukturen wenig beeinflusste: Allein sporadische Schwankungen in den Datennetzen – weil viele von zu Hause aus arbeiteten – ließen so manchen erahnen, was ein tatsächlicher Ausfall der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur bedeuten würde. Der Sicherheit von IT-Systemen und Telekommunikationsnetzen widmen sich zahlreiche Fraunhofer-Institute. Mit Cyber-Angriffen, physischen oder kombinierten cyber-physischen Bedrohungen für aktuelle 4G/LTE-Netze und künftige 5G-Kommunikationsnetze befasst sich etwa das Fraunhofer EMI im EU-Projekt RESISTO. Wichtig ist die Netzresilienz besonders im Hinblick auf das Internet der Dinge, autonome Mobilität und den weiteren Digitalausbau. In einem standardisierten Prozess identifiziert und bewertet das Expertenteam kritische Punkte und potenzielle Gegenmaßnahmen anhand einer Simulation des Kommunikationsnetzes. Zudem stellen sie den Netzbetreibern Anwendungen als Entscheidungshilfe in einer Benutzeroberfläche zusammen.

Einen Resilienzcheck für IT-Strukturen bietet das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in St. Augustin an: »Dabei geht es um mehr als nur die Sicherheit von IT-Systemen«, betont Kai Pervölz, Geschäftsfeldleiter Präventive Sicherheit. »Mit einer Cyber-Resilienz-Strategie helfen wir Organisationen dabei, vorbereitet zu sein, um im Fall eines Cyberangriffs weiterhin handlungsfähig zu bleiben.« Dazu analysiert Pervölz' Team in einem 360-Grad-Check nicht nur die IT-Architektur und getroffene Sicherheitsmaßnahmen, sondern auch Organisationsstrukturen, Prozesse und die Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette. Daraufhin entwickelt es sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen, die von Notfallplänen über Sicherheitskonzepte für kritische Informationswerte und Geschäftsprozesse bis hin zu Kommunikationskonzepten für mehr Awareness in der gesamten Organisation reichen. Denn der Faktor Mensch spielt in resilienten Systemen eine wesentliche Rolle.

»Resilienz ist der Schlüssel, um die Vorteile der Globalisierung zu sichern.«

Interview mit Prof. Stephen E. Flynn, Gründungsdirektor des Global Resilience Institute, Northeastern University, Boston, Massachusetts

Interview: Mandy Bartel

Was macht eine Gesellschaft, ein Land resilient?

Flynn: Die Resilienz einer Gesellschaft erwächst aus der Widerstandsfähigkeit 1. ihrer Individuen, Familien und Gemeinschaften, 2. ihrer Infrastrukturen und Systeme und 3. einer nachhaltigen, gerechten Wirtschaft. Resiliente Länder können in Krisen auf ein starkes Sozialkapital sowie robuste Infrastrukturen und Systeme zurückgreifen, mit denen sich Funktionen aufrechterhalten oder schnell wiederherstellen lassen. Zudem haben sie ausreichend Ressourcen, um Verluste auszugleichen und soziale Sicherung zu gewährleisten. Dabei können Stärken in einem Bereich Defizite in einem anderen ausgleichen. Entwicklungsländer beispielsweise, die über eine starke individuelle und kollektive Resilienz verfügen, sind in der Lage, versagende Infrastrukturen oder knappe Ressourcen auf kreative, kostengünstige Weise zu kompen-

sieren. Was dies betrifft, können Industrieländer hier noch viel von Entwicklungsländern lernen.

Welche Kompetenzen müssen wir aufbauen, um für kommende Krisen vorbereitet zu sein?

Künftig müssen wir die Wissenschaft durch kollaborative Tools mehr vernetzen, um die Ausbreitung von Krankheiten besser zu modellieren und vorherzusagen. Staaten müssen in die gesundheitliche Aufklärung der Bevölkerung investieren und die internationale Zusammenarbeit stärken, um die Entwicklung von Tests und Impfstoffen zu beschleunigen. Zudem gilt es, die schnelle Produktion und Bereitstellung von Grundversorgungsgütern dort zu sichern, wo sie dringend gebraucht werden. Viren sind politische Grenzen egal, auch wir sollten diese bei ihrer Bekämpfung außen vor lassen.

»Wir können noch viel von Entwicklungsländern lernen.«

Auch das hat die Pandemie deutlich gezeigt: Kritische Infrastrukturen sind eben nicht nur technische Systeme und Anlagen, sondern kritisch sind auch und vor allem die Personen, die hier arbeiten. Fachkräfte müssen ihre Kinder zu Hause betreuen, Gastarbeitende und Erntehelfende kommen nicht über die Grenzen, Mitarbeitende fallen in der Pandemie wegen Krankheit oder Quarantäne aus. Wenn plötzlich ein Großteil der Belegschaft nicht mehr vor Ort arbeiten kann, ist eine flexible Personal- und Schichtplanung gefragt. Wie stelle ich sicher, dass immer genügend Personal vor Ort ist? Wo können Mitarbeitende, die nicht ihrer Arbeit nachgehen können, andere wichtige Aufgaben übernehmen? Um diese Fragen zu beantworten, entwickelte das Fraunhofer IFF eine Plattform zur Arbeitszeitflexibilisierung, mit der Produktionsplanung, Schichtpläne und persönliche Präferenzen des Personals optimal ineinandergreifen. »Was als soziale Innovation gedacht war, erweist sich nun als ökonomischer Vorteil«, sagt Prof. Julia Arlinghaus, Leiterin des Fraunhofer IFF. Mittelfristig ist geplant, das System auch über Unternehmensgrenzen hinweg einzusetzen, um Personalmangel auf der einen und -überschuss auf der anderen Seite auszugleichen.

› Response

Wie kann man im Ernstfall am besten reagieren?

Schnelles Handeln ist vor allem bei akuten Schadensereignissen gefragt. Ein funktionierendes länder- und organisationsübergreifendes Katastrophenschutzmanagement erlaubt es, Einsatzkräfte in kurzer Zeit zu mobilisieren und zu koordinieren. Um verschiedene Szenarien durchzuspielen, hat das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin mit Partnern aus dem privaten und öffentlichen Sektor ein »safety lab« eingerichtet. Auf Knopfdruck kann dort ein Extremunwetter aufziehen oder ein Großbrand entfacht werden – in der Computersimulation. Realitätsnah lässt sich dann virtuell aufzeigen, in welchem Fall welche Stellen involviert sind und wie die Prozesse genau ablaufen. ►



Stephen E. Flynn ist internationaler Resilienz-Experte, Professor für Politikwissenschaft und war führender Berater der Regierung Barack Obama in Homeland-Security-Fragen.

Die Pandemie hat die USA besonders hart getroffen: Welche Lehren sollte das Land ziehen?

Die Bekämpfung einer Pandemie ist eine lokale und keine nationale Angelegenheit. Investitionen in das Gesundheitswesen auf lokaler und regionaler Ebene sind ebenso zentral wie der Ausbau von Krankenhauskapazitäten. Zudem bringt die Krise das Modell des US-amerikanischen Gesundheitssystems an seine Belastungsgrenze, eine grundlegende Gesundheitsreform ist unumgänglich. Eine weitere wichtige Lektion ist, dass sich das Pandemie-Risiko durch Grenzkontrollen nur beschränkt bekämpfen lässt – dies gelingt nur durch internationale Zusammenarbeit auf allen Ebenen. Und schließlich ist auch der politische Wille gefragt, in die Abwehr von Katastrophen zu investieren, die zwar vielleicht eine geringe Wahrscheinlichkeit, aber verheerende Folgen haben können.

Wie lassen sich Globalisierung, Wirtschaftlichkeit und Resilienz vereinen?

In unserer hypervernetzten Welt haben Katastrophen nicht mehr nur lokale Auswirkungen, sondern können lawinenartig weltweit verheerende und kostspielige Folgen haben. Wegen der wirtschaftlichen Vorteile der Globalisierung hat die Welt in den letzten dreißig Jahren massiv in Vernetzung investiert, es jedoch versäumt, sich gegen damit einhergehende Risiken angemessen abzusichern. Dabei sind Bürger und Unternehmen nur dann bereit, sich zusammenzutun, wenn sie glauben, dass der Nutzen das Risiko überwiegt. Schätzen sie das Risiko größer ein als den Gewinn, koppeln sie sich ab – das hat die Reaktion auf die Pandemie deutlich gemacht. Entsprechend liegt der Schlüssel zur Sicherung der Vorteile der Globalisierung darin, in Resilienz zu investieren. Die Alternative – ein kurzfristiger Fokus auf Wirtschaftlichkeit, der Störungen außer Acht lässt – ist fahrlässig und schädlich. Letztlich lässt sich eine globale Wirtschaft, die nachhaltig und gerecht ist, nur dadurch aufbauen, dass auf allen Ebenen und in allen Infrastruktur- und Systembereichen in Resilienz investiert wird. ■

»Wir müssen auf allen Ebenen in Resilienz investieren.«



Geister & Meister

Nicht von Pappe sind die Fans des Fußballbundesligisten Borussia Mönchengladbach. Um die Kulisse aufzuhübschen, besetzen sie die Tribüne trotz Stadionverbots mit ihren Fotos. Eine Konstante allerdings bleibt trotz Corona: Schon im Mai wird der FC Bayern München Geistermeister. Und holt die Meisterschaft zum 30. Mal. © Getty Images

► »In unserem Lab zeigen wir die Vernetzung verschiedenster Systeme, von Feuerwehrleitstellen über Leitstände kritischer Infrastrukturbetreiber bis hin zu Informationssystemen für die Öffentlichkeit. Die zentrale Forschungsfrage ist, wie sich diese dezentralen Lösungen miteinander koppeln lassen und vor allem wie wir die Bevölkerung in die Informationsprozesse einbinden«, erklärt Niklas Reinhardt, Mitarbeiter im Bereich Vernetzte Sicherheit am FOKUS. Dafür spielen nicht nur technische, sondern auch organisatorische und juristische Fragen eine wichtige Rolle. Aus dem Sicherheitslab sind Technologien wie das international von Millionen Menschen genutzte Warnsystem KATWARN und das Helfersystem KATRETTET, über das Freiwillige bei einem Notfall die Einsatzkräfte unterstützen können, hervorgegangen.

»Die zentrale Forschungsfrage ist, wie sich dezentrale Lösungen miteinander koppeln lassen.«

Niklas Reinhardt,
Fraunhofer FOKUS

Die weltweite Ausbreitung des Coronavirus hat gezeigt, wie wichtig einheitliche und abgestimmte Prozesse sind, wenn es ums Krisenmanagement geht. Die EU arbeitet – mithilfe von Fraunhofer – daran, einheitliche europäische Standards im Bereich Disaster Resilience zu schaffen. Im Projekt STRATEGY, das ab September startet, wirkt das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT daran mit, die grenzüberschreitende technische und organisatorische Interoperabilität im Katastrophenmanagement zu stärken. Dafür werden existierende, in Entwicklung befindliche und ganz neue Standards realitätsnah getestet und evaluiert.

Flexibilität ist das Zauberwort in der Response-Phase und wichtiger Erfolgsfaktor von resilienten Gesellschaften. Unternehmen digitalisierten in der Coronazeit in Windeseile ihre Prozesse, sodass die Arbeitnehmerschaft trotz Lockdown arbeiten konnte. Schnapsbrennereien stellten mit ihren Anlagen Desinfektionsmittel her. Bekleidungsunternehmen

fertigten Schutzmasken. Autobauer modifizierten ihre 3D-Drucker für die Produktion von Beatmungsgeräten. Im Resilience Engineering spricht man von »Generic Capabilities«. Es geht darum, vorhandene Instrumente und Fähigkeiten außerhalb ihrer eigentlichen Zweckbestimmung zu nutzen, um schnell reagieren zu können. Je mehr generische Fähigkeiten und Ressourcen Organisationen zur Verfügung haben, desto agiler können sie eine Resilienz-Strategie umsetzen. Wie die flexible Anpassung oft hochspezialisierter Prozesse gelingt, weiß man am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen. Dort hatten die Forschenden vier Wochen Zeit, um gemeinsam mit Partnern für die Moss GmbH eine Produktionsanlage für sogenannte MNS-Masken aufzubauen. Und das zum Großteil aus dem Homeoffice heraus und in parallelen Arbeitsschritten. 40 000 der dringend benötigten zertifizierten chirurgischen Masken produziert das Unternehmen, das eigentlich großformatige Textildrucke für Werbezwecke herstellt, dort nun täglich. Derzeit befinden sich weitere Anlagen im Bau, die Produktionskapazitäten von mehreren Millionen Masken pro Woche erreichen sollen.

Digitales Engineering ist der Schlüssel zu mehr Flexibilität in unsicheren Zeiten. »Wir müssen uns darauf einstellen, die Produktion immer wieder hoch- und runterzufahren, wenn regionale Lockdowns Lieferketten unterbrechen, Personal oder Rohstoffe fehlen«, sagt Julia Arlinghaus. Doch manche Produktionsstätten können nicht einfach ausgeschaltet werden. Fernwartung ist eine Möglichkeit, um den Betrieb aufrechtzuerhalten. »Wir erstellen einen digitalen Zwilling der Anlage, sodass man im Ernstfall nicht erst eine Bestandsaufnahme machen muss, sondern alle relevanten Informationen verfügbar hat«, erklärt die Produktionsexpertin. So lässt sich in Echtzeit und ortsunabhängig simulieren, wie man die Produktion effizient umstellen kann.

Wo Lieferketten versagen oder die Nachfrage nach bestimmten Produkten sprunghaft ansteigt, hilft auch 3D-Druck. Druckdateien lassen sich einfach online teilen und jeder kann vor Ort schnell das herstellen, was gebraucht wird. Dr. Philipp Imgrund von der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT in Hamburg ist überzeugt: »Durch die Corona-Pandemie wurde deutlich, dass uns die additive Fertigung resilienter in Krisen macht. Wir können flexibler auf neue Situationen reagieren und Engpässe – etwa bei Schutzausrüstung oder Komponenten für Beatmungsgeräte – schneller überwinden. In den letzten Monaten gab es zahlreiche Initiativen, wo 3D-Druck schnell Hilfe leistete.« Künftig könnte es also zum Wettbewerbsvorteil werden, 3D-Druck standardmäßig in die Produktionsprozesse zu integrieren.

Beschleunigt haben sich weltweit auch die Entwicklungen in der Automatisierung und Robotik. In China waren etwa kontaktlose Lieferroboter und Desinfektionsroboter während der Pandemie besonders gefragt. Die Volksrepublik ist auch für Industrieroboter der weltgrößte Absatzmarkt. Doch noch ist die Roboterichte im Vergleich zu Mitarbeitenden im Produktionssektor eher gering: Auf 10 000 Produzierende kommen 140 Roboter. In Deutschland sind es 338 Roboter, in Singapur schon 831.

Dass sich in puncto Flexibilität für die hiesige Produktion mit der Robotik neue Wege auftun, ist sich Titanilla Komen-da sicher. Die Wienerin forscht bei Fraunhofer Austria an Einsatzfeldern für kollaborative Robotik in der Produktion. »Sogenannte Cobots lassen bisherige Schutzzäune hinter sich und interagieren enger mit Menschen. Sie bieten die große Chance, Produktionssysteme flexibler zu gestalten, weil man mit ihnen den Automatisierungsgrad situationsbedingt anpassen kann«, erklärt die junge Forscherin. »Zum Beispiel stieg während der Pandemie der Bedarf an Schutzmasken und Desinfektionsmitteln, wodurch sehr schnell ein hoher Automatisierungsgrad gefragt war. Wenn die Nachfrage sinkt und wieder kleinere Stückzahlen benötigt werden, erlauben Cobots den Unternehmen, sich flexibel darauf einzustellen.« So können Menschen die Roboter einfach umprogrammieren und ihnen so erlauben, viele verschiedene Arbeitsschritte zu übernehmen. Das erfordert vor allem eine intuitivere Programmierung als bisher. Komendas Ziel ist es, dass Roboter künftig so leicht wie ein Akkuschauber zu bedienen und umzuprogrammieren sind. Dass dies noch eine Weile dauern könnte, liegt vor allem an den hohen Sicherheitsanforderungen für die Roboter-Mensch-Kollaboration.

» Recover

Wie erholen sich Systeme schnell und lernen daraus?

Alexander Stolz vom Fraunhofer EMI macht Hoffnung: »Die Finanzkrise 2008, die vielleicht am ehesten mit der momentanen wirtschaftlichen Lage vergleichbar ist, hat gezeigt, dass Deutschland sich sehr schnell wieder erholt hat. Die Stärken, die uns dabei zugute kamen, waren der flexible und innovative Mittelstand, eine breit aufgestellte Produktion und Forschung und damit ein diverses und starkes Wirtschaftssystem.« Neben den wirtschaftlichen Voraussetzungen ist für die Recover-Phase vor allem eins wichtig: Auch sie muss strategisch geplant sein.

»Der schrittweise Wiedereinstieg in die Normalität muss schon in den Phasen zuvor mitgedacht werden – auch wenn da noch große Unsicherheit herrscht, wohin sich das Geschehen entwickelt. Um Entscheidungen wiederkehrend und dynamisch auf den Prüfstand zu stellen, müssen wir einfache Indikatoren festlegen, die die Wirkung der Maßnahmen ständig messbar machen. Tägliches Protokollieren macht Erfolge sichtbar, zeigt Schwachstellen und hilft, schnell zu reagieren«, sagt Stolz.

Für Unternehmen gilt es in der Recover-Phase nach dem Corona-Lockdown, die Balance zwischen zwei Aufgaben zu finden: Auf der einen Seite müssen sie Mitarbeitende und Kunden schützen, auf der anderen Seite die Produktion wieder aufnehmen, um die finanziellen Verluste zu minimieren. Im virtuellen Arbeitskreis »Virtual CoLAB – resiliente Wertschöpfung in Zeiten von Corona« bereitet das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Kooperation mit Fraunhofer Austria Firmen darauf vor, die Produktion wieder sicher hochzufahren und sich gleichzeitig krisenfest aufzustellen. Dort helfen die Expertenteams zum Beispiel dabei, einen systematischen Maßnahmenkatalog zu erstellen, auch der Austausch mit anderen Unternehmen zu Best Practices ist möglich. »Oft sind es einfache Maßnahmen, die in der Anfangszeit am meisten helfen: Temperaturmessung, Bustransport-Management, Arbeitsplatzgestaltung und Risikoanalyse gehörten zu den ersten Schritten«, berichtet Projektleiter Maximilian Dörr. »Darauf aufbauend erarbeiten wir dann Strategien für mehr Wandlungsfähigkeit in der Zeit nach der Krise.« ▶

»Durch die Corona-Pandemie wurde deutlich, dass uns die additive Fertigung resilienter in Krisen macht.«

Dr. Philipp Imgrund,
Fraunhofer IAPT

► Eine weitere Herausforderung ist es, aus dem Takt geratene Lieferketten wieder in Gang zu bekommen. Durch weltweite Produktionsstopps kam es einerseits zu Materialengpässen, andererseits erhöhten konstant gelieferte, aber nicht weiterverarbeitete Waren die Bestände hierzulande. Diese asynchronen Supply-Chain-Zustände in der Produktion gilt es nun wieder zu synchronisieren. Im Projekt »Fast Ramp up« hilft das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund Unternehmen mit einer szenarienbasierten Planung und Steuerung. »Mit der Toolsuite Order-To-Delivery-NETwork Simulator, kurz ODT NET, können wir Lieferketten- und Ramp-up-Szenarien simulativ bewerten, sodass die Produktion schnell wieder hochgefahren werden kann«, sagt Projektleiter Marco Motta.

Der letzte und nicht minder wichtige Schritt ist es, aus den bisherigen Maßnahmen zu lernen und das Gelernte zu adaptieren – bevor sich nahtlos eine erneute Prepare-Phase anschließt. Dazu ist es wichtig, über alle Phasen hinweg anfallende Daten und Beobachtungen, die in die Krisenbewältigung und -bewältigung einfließen, strukturiert zu sammeln und abzulegen. Kein leichtes Unterfangen, da diese Daten sehr divers sind und selten einheitlich oder zentral erfasst werden. Hier können vor allem KI-Methoden wie Machine Learning unterstützen.

International sind bereits Aufarbeitungsstudien gestartet, aus denen sich eine erste Bilanz ziehen lässt. So haben im Projekt CoronaNet über 150 Forschende über 18 Zeitzonen hinweg Tausende Maßnahmen, die in über 200 Ländern zur Eindämmung des Virus ergriffen wurden, untersucht und kategorisiert. Unterstützt durch maschinelles Lernen, analysierten sie dafür über 200 000 Nachrichtenartikel und extrahierten daraus 16 verschiedene Maßnahmentypen. In einem Aktivitätsindex verglichen sie zum Beispiel, in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt die verschiedenen Länder die Maßnahmen einsetzten. Ende April lag Deutschland hier im internationalen Vergleich im Mittelfeld.

»Wir können Lieferketten- und Ramp-up-Szenarien simulativ bewerten, sodass die Produktion schnell wieder hochgefahren werden kann.«

Marco Motta,
Fraunhofer IML

Auch einige Fraunhofer-Institute haben Forschungsprojekte ins Leben gerufen, um wichtige Erkenntnisse aus den letzten Monaten zu ziehen. So will Alexander Stolz an seinem Institut anhand von Korrelationsmodellen den Einfluss verschiedener Maßnahmen etwa auf den Betrieb kritischer Infrastrukturen in ausgewählten Regionen erfassen. Dabei bedienen er und sein Team sich unterschiedlichster Quellen: verfügbare statistische Daten, Informationen von Betreibern und Unternehmen, aber auch Pressemeldungen. Diese werden dann so aufgearbeitet und strukturiert, dass sie miteinander korrelierbar sind. Ein aktuell am Fraunhofer ISI gestartetes Projekt hat das Ziel, die Dynamik von Systemtransformationen konzeptionell und analytisch zu verstehen und zu gestalten. Die Forschenden entwickeln Konzepte, um Politik und Unternehmen bei der Ausarbeitung von Strategien, die den Wandel von Systemen beeinflussen, zu unterstützen.

Noch ist es zu früh für abschließende Beurteilungen.

Doch die Erfahrungen aus diesem womöglich größten natürlichen Experiment unserer Zeit, die uns zur Verfügung stehenden intelligenten Analysewerkzeuge, zusammen mit den neu entdeckten Möglichkeiten der Kollaboration und der Flexibilisierung sowie der Besinnung auf unsere Fähigkeiten werden uns nicht nur helfen, gestärkt aus dieser schwierigen Zeit hervorzugehen. Sondern uns auch den nötigen Schwung für die wichtigen Transformationsprozesse geben. Vorausgesetzt, das Umdenken hält an. »In der Resilienzforschung sind wir gewisse Konjunkturzyklen für unsere Forschung gewöhnt. Die Gefahr besteht, dass, wenn die Maßnahmen greifen und die Krise gut überstanden ist, man weitermacht wie bisher«, gibt Florian Roth zu bedenken. »Doch ich bin überzeugt, dass diese Krise noch lange in unserem kollektiven Gedächtnis verankert sein wird. Und mit ihr die Erkenntnis, dass es letztlich besser ist vorzusorgen, als im Nachhinein die Scherben aufzukehren.« ■

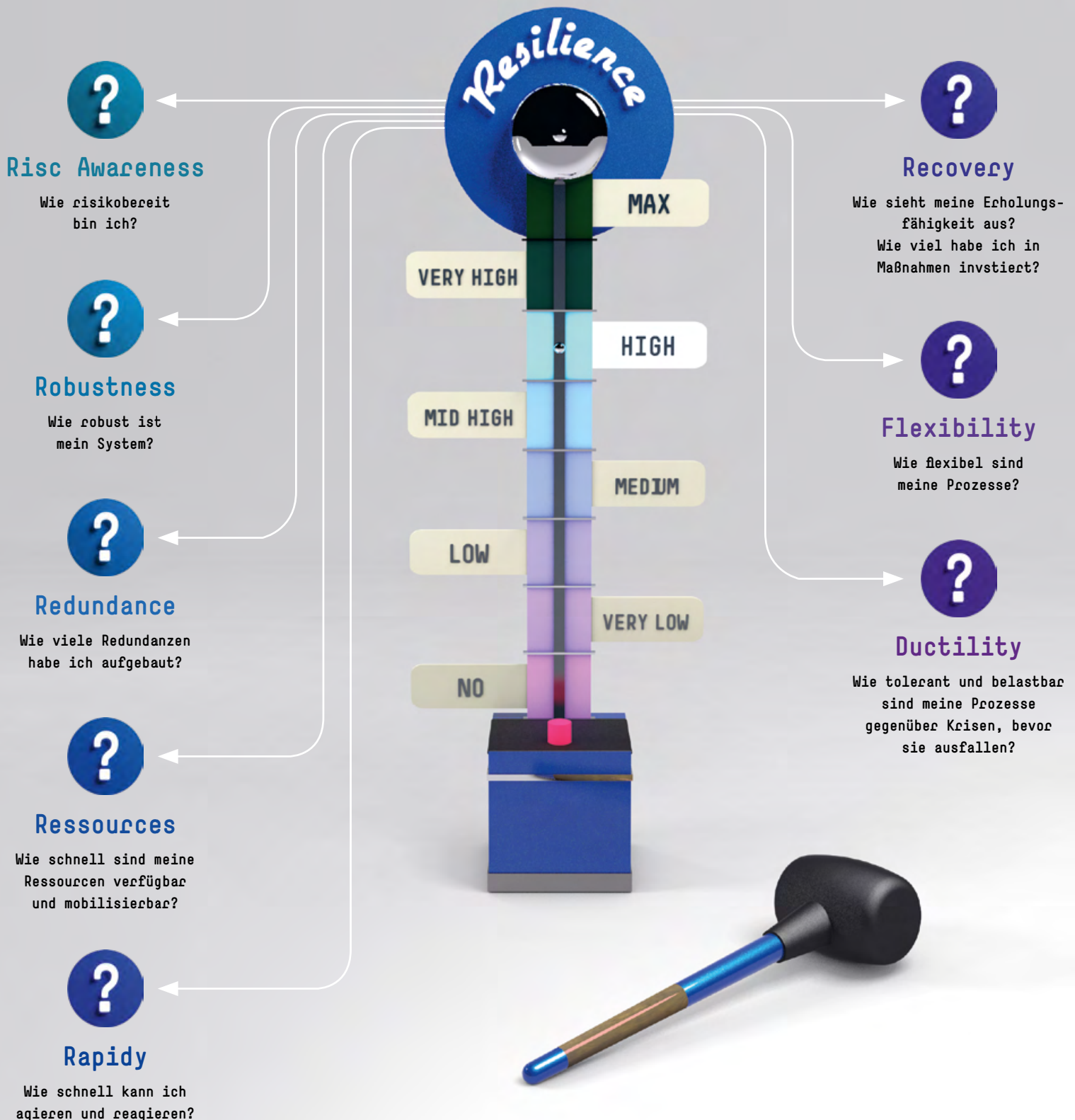


Supervirus & Superkräfte

Schulen zu, Kindertagesstätten verwaist, Familien überfordert mit Homeoffice und Homeschooling: Da kommt ein Schub an Superkräften recht. Ein Junge betrachtet das Werk von Kai Wohlgemuth, Künstlername »The Uzey«. Der hat von Corona profitiert. Zeitungen weltweit machten seine Arbeiten bekannt. © Getty Images

Die acht Dimensionen von Resilienz

Widerstandsfähigkeit aufzubauen ist ein Kraftakt. Diese acht Fragen sollten sich Unternehmen oder Organisationen stellen und ehrlich beantworten, um einschätzen zu können, wie gut sie gegen Krisen gewappnet sind.



»Wir müssen die Krise als Weckruf verstehen«

Dr. Florian Roth erforscht am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe die Widerstandsfähigkeit von Gesellschaften und Systemen. Wir sprachen mit ihm über Chancen und Risiken der Krise.

Interview: Mandy Bartel

Herr Roth, wie resilient ist man eigentlich als Resilienzforscher?

Roth: Zumindest beobachte ich meine eigene Resilienz aufmerksam. Was sind meine Verarbeitungsstrategien? Was meine Ressourcen? Aus welchen Dingen ziehe ich meine Stärke? Will ich, dass alles wieder wird wie zuvor oder bin ich auch bereit, mich auf etwas Neues einzulassen? Ich versuche, möglichst anpassungsfähig und flexibel zu bleiben, zum Beispiel in Bezug auf neue Tools und Technologien.

Sie haben zum Thema politische Risikoentscheidungsprozesse in komplexen Handlungskontexten promoviert: Was lässt sich daraus für die derzeitige Situation ableiten?

Tatsächlich habe ich mir explizit das Zusammenspiel von parlamentarischer Politik, Medien und Öffentlichkeit angeschaut – eine Wechselwirkung, wie wir sie in diesen Wochen erleben. Risikoentscheidungen werden unter enormem Zeitdruck getroffen. Fehlentscheidungen haben schwerwiegende Konsequenzen für die Gesellschaft und den Entscheidungsträger selbst. Eine Gefahr besteht auch im Effekt der sogenannten versunkenen Kosten: Wenn man sich auf einen Weg festgelegt hat, in den man schon viel investiert hat, ist es schwierig, eine neue Richtung einzuschlagen, auch wenn diese sinnvoller wäre. In die Entscheidungsfindung sollten zudem immer interdisziplinäre Fachexperten eingebunden sein, um die Situation aus unterschiedlichen Perspektiven zu beurteilen. Am Beispiel Mundschutz zeigt sich: Virologen können zwar erklären, wie sich Viren beim Sprechen verteilen, sozialwissenschaftliche Methoden hingegen helfen, die psychologischen, politischen und gesellschaftlichen Auswir-

kungen zu verstehen – zum Beispiel, warum die Pflicht zum Tragen eines Mundschutzes dazu führen kann, dass manche Menschen sich sicherer fühlen und den Mindestabstand nicht einhalten. Wir nennen das Risk Compensating.

Wie gelingt erfolgreiche Kommunikation in Krisensituationen?

Sie muss transparent und partnerschaftlich sein. Kontraproduktiv ist das sogenannte »Nudging«, der Versuch, das Verhalten von Menschen manipulativ in eine bestimmte Richtung zu beeinflussen. Zudem hat sich gezeigt: Es ist wichtig zu wissen, was man will, nicht nur, was man nicht will oder verhindern will. Also eine positive Argumentation erhöht die Akzeptanz.

Zentral oder dezentral: Welches System ist in Krisenzeiten besser geeignet?

In unserer Gesellschaft ist das Wissen sehr breit verteilt. Das ist ein Vorteil. Da können wir auch aus der Ökologie lernen: Bei der Erforschung von Korallenriffen fand man heraus, dass komplexe, artenreiche Ökosysteme resilienter sind. Auch wenn dies nicht eins zu eins übertragbar ist, zeigt sich: Systeme, die ihre Kapazitäten und ihr Wissen nicht zentralisieren, kommen besser mit Krisen zurecht. Denn sie können die Wahrnehmung einzelner Elemente nutzen, um Signale oder Änderungen, die im Gesamtsystem noch unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen, früher zu erkennen, schneller zu reagieren und Informationsüberlastung zu verhindern. Deshalb ist es wichtig, eine hohe Entscheidungskompetenz im gesamten System aufzubauen. Nicht nur zentrale Stellen, auch kleinere Einheiten müssen befähigt werden, Entscheidungen zu treffen. Befähigung ist ganz wichtig.

»Nicht nur zentrale Stellen, auch kleinere Einheiten müssen befähigt werden, Entscheidungen zu treffen. Befähigung ist ganz wichtig.«



Dr. Florian Roth hat über politische Risikoentscheidungsprozesse promoviert. Am Fraunhofer ISI beschäftigt er sich mit gesellschaftlichen Transformationsprozessen und dem Aufbau sozio-technischer Resilienz.

Starker Staat oder Eigenverantwortung: Was wird künftig in Deutschland mehr gefragt sein?

Es gibt beide Tendenzen hierzulande – und das muss auch kein Widerspruch sein. Ein effektiver, handlungsfähiger Staat ist wichtig, um durch die Krise zu navigieren. Und tatsächlich stärken Krisensituationen zumindest kurzfristig das Vertrauen der Bevölkerung in die staatlichen Institutionen tendenziell, wie Studien zeigen. Doch haben wir in den letzten Wochen viele eigenverantwortliche Initiativen gesehen, von der Nachbarschaftshilfe auf lokaler Ebene bis hin zu digitalen Zusammenschlüssen von Wissenschaftlern und privaten Gruppen. Diese Partizipation führt zu mehr Selbstbewusstsein, Selbstwirksamkeit und darüber auch zu mehr Mitbestimmungswillen. Das ist eine Chance für die Stärkung einer aktiven Zivilgesellschaft, die uns dann auch bei künftigen Krisen helfen kann.

»In unserer Gesellschaft ist das Wissen sehr breit verteilt. Das ist ein Vorteil.«

Wie gelingt nach einer Krise der Sprung nach vorne statt zurück?

Die Grundvoraussetzung ist, die Chancen auch zu erkennen und nicht überhastet in alte Muster zurückzufallen. Wir befinden uns gerade an einem Schlüsselpunkt. Den Handlungsbedarf kannten wir zum Großteil schon vorher. Nun ist die Frage: Wie können wir ein langfristig tragfähiges und erfolgreiches System aufbauen? Dabei muss uns bewusst sein: Wer solche Transformationsprozesse gestaltet, muss auch Verlierer in Kauf nehmen. Und es ist an der Politik, die nötigen Ausgleichsmechanismen zu schaffen, um diesen disruptiven Wandel sozialverträglich zu gestalten.

Die Corona-Krise als Katalysator?

Digitalisierung, Neuausrichtung von Bildung, Gesundheits- und Pflegesektor, Mobilität, Dekarbonisierung, Strukturwandel in wirtschaftlich schwachen Regionen, Klimawandelanpassung. All diese Herausforderungen sind schon lange auf dem Tisch. Manch bestehende Strukturkrise wird von der Pandemie noch verstärkt, zum Beispiel im Flugsektor. So überleben viele Airlines derzeit nur durch staatliche Eingriffe. Gleichzeitig nehmen sie eine Schlüsselposition in der Klimadiskussion ein. Jetzt ist der Zeitpunkt zu überlegen, wie man den Wandel in die richtige Richtung steuern kann. Langfristig kann auch in vom Strukturwandel betroffenen Regionen Neues entstehen, wenn Umbrüche richtig genutzt werden. ■

»Die Grundvoraussetzung ist, die Chancen auch zu erkennen und nicht überhastet in alte Muster zurückzufallen.«



Auszeit dem Klima zuliebe

Einfach mal nichts tun, das haben wir verlernt. Dabei braucht Nachhaltigkeit Entschleunigung, sind Forscher überzeugt.

Text: Dr. Sonja Endres



»Durch Corona gab es eine Systemstörung und wir mussten unseren Alltag verändern. Viele hatten plötzlich wesentlich mehr Zeit.«

Lorenz Erdmann,
Zukunftsforscher
am Fraunhofer ISI

Die Wartezeit auf dem Bahnsteig für drei Gespräche über zwei Messenger nutzen, im Pendlerzug schon mal die E-Mails checken oder online den Lebensmittel-Einkauf erledigen – der moderne Mensch ist Meister der Effizienz. Ungenutzte Zeit ist vergeudet. Smartphones und diverse Apps, Multitasking, Lieferservices, Online-Shopping und Co. sollen helfen, Zeit zu sparen. Doch statt sich über mehr Muße zu freuen, klagen immer mehr Menschen über wachsende Zeitnot. In einer Umfrage des Instituts für Demoskopie Allensbach von 2019 gaben 26 Millionen Deutsche an, zu wenig Zeit zu haben.

»Es ist paradox: Trotz aller zeitsparender Technik nimmt die Zeitnot in der subjektiven Wahrnehmung zu«, sagt Lorenz Erdmann, der das Geschäftsfeld Zukünfte und Gesellschaft am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe leitet. Diesen sogenannten Zeit-Rebound-Effekt hat der Soziologe Hartmut Rosa in seinem Buch über Beschleunigung 2005 erstmals beschrieben. Die gesparte Zeit werde, so Rosa, nicht dafür genutzt, sich für andere Dinge mehr Zeit zu nehmen, wie Entspannung oder soziale Kontakte, sondern in mehr Produktivität umgesetzt. ►

»Ich glaube, dass mein Bewusstsein für die Zeitdiebe gewachsen ist.«

Lorenz Erdmann

► So fühlen sich heute viele wie in Michael Endes weltberühmtem Kinderbuch »Momo«: Je schneller sie arbeiten, desto weniger Zeit bleibt – ein Hamsterrad, das sich immer schneller dreht und aus dem es keinen Ausweg zu geben scheint. »Das Leben wird voller«, ist auch Lorenz Erdmann überzeugt. Zusammen mit Partnern von der TU Berlin und der Leuphana Universität Lüneburg will er Rosas These jetzt empirisch überprüfen – und untersuchen, welche Auswirkungen der Effekt auf Gesellschaft, Wirtschaft und nachhaltigen Konsum hat.

Schlafen, Sport machen und ausruhen – das wollten die meisten

Dafür entwickeln Erdmann und seine Kollegen ein Simulationsmodell, das sie mit Daten aus den Zeitverwendungsstudien des Statistischen Bundesamtes, Daten zu CO₂-Emissionen, Ernährung, Mobilität, digitalen Medien, E-Commerce etc. füttern. Wichtige Grundlage sind außerdem die Daten aus einer eigens für das Projekt »Zeit-Rebound, Zeitwohlstand und nachhaltiger Konsum (ReZeitKon)« durchgeführten repräsentativen Befragung. Erdmann und sein Team wollten unter anderem wissen, womit die Menschen ihre Zeit verbringen, wie stark sie von Zeitnot betroffen sind, wie und was sie konsumieren – und was sie tun würden, wenn sie am Tag eine Stunde mehr Zeit hätten. Die häufigsten Antworten

auf diese offene Frage zeichnen das Bild einer erschöpften Gesellschaft: schlafen, Sport, ausruhen, soziale Kontakte pflegen, lesen.

Durchgeführt wurde die Befragung im Februar, noch vor dem Lockdown in Deutschland infolge der Corona-Pandemie. Für das Projekt schuf das Virus ganz neue Möglichkeiten. »Durch Corona gab es eine Systemstörung und wir mussten unseren Alltag verändern. Viele hatten plötzlich wesentlich mehr Zeit«, sagt Erdmann. Spontan schoben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine zweite Befragung nach. Sie wollten wissen: Was tun die Menschen mit der gewonnenen Zeit? Erste Ergebnisse zeigen: Schlafen und ausruhen sind von den vorderen Plätzen verschwunden. Stattdessen führen Heimwerken und Gartenarbeit die Liste mit den häufigsten Antworten an.

Sind wir damit überfordert, einmal nichts zu tun? »So einfach ist es nicht«, sagt Erdmann. »Wir haben eben unseren Alltag, in dem wir Routinen ausprägen, und die lassen sich nicht so schnell ändern. Es gibt Lebensereignisse, die ein Zeitfenster öffnen. Routinen werden durchgeschüttelt und neue ausgebildet. So ein Zeitfenster könnte Corona sein.«

Aber nicht für alle. Erdmann betont, es sei wichtig, bei der Auswertung der Umfrageergebnisse genau hinzugucken und nach unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen, Lebenslagen und -stilen zu differenzieren: »Auf Menschen mit viel Geld und viel Zeit, also die klassischen Privatiers, wirkt sich die Corona-Krise sicher anders aus als auf solche mit wenig Geld und wenig Zeit, also prekär Beschäftigte, mit zwei Kindern und zwei Jobs, die trotzdem kaum über die Runden kommen. Bei denen ist der Zeit- und Gelddruck extrem hoch. Haben sie durch die Corona-Krise ihre Jobs verloren, vermindert sich zwar ihre Zeitnot, aber ihre Geldsorgen verschärfen sich. Solche mit wenig Zeit und viel Geld, gut verdienende Akademiker, denen ihr Beruf sehr wichtig ist, haben jetzt möglicherweise eine Entschleunigung erlebt – allerdings nur, wenn sie keine Kinder zu Hause betreuen mussten.«

Auch wenn sich in der Gesellschaft gerade der Umgang mit Zeit ändert: »Mit dem Ausschleichen der Krise wird es starke Bestrebungen geben, wieder in die alten Muster zu fallen«, vermutet Zukunftsforscher Erdmann.

Burn-out der Natur

Doch damit droht bald die nächste Katastrophe, die Klimakatastrophe. Erdmann und seine Kollegen glauben, dass der Zeit-Rebound-Effekt erhebliche Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit hat – und damit stehen sie nicht allein. Adrienne Goehler vom Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung IASS in Potsdam ist sich sicher: »Nachhaltigkeit braucht Entschleunigung.« Eine Studie an der australischen

Die Kunst des Zeitwohlstands

Das fächerübergreifende Team von ReZeitKon, zu dem Ökonomen, Politikwissenschaftler, Umweltpsychologen, Nachhaltigkeitsforscher, Geistes- und Sozialwissenschaftler gehören, entwickelt Handlungsempfehlungen, die den grauen Herren von der Zeitsparkasse aus »Momo« das Handwerk legen und zu mehr Zeitwohlstand verhelfen sollen. Der ist erreicht, so haben die Wissenschaftler herausgearbeitet, wenn fünf Kriterien erfüllt sind:

- 1 Das Lebenstempo wird als angemessen empfunden.
- 2 Die Zeit ist planbar.
- 3 Ich kann souverän über meine Zeit entscheiden.
- 4 Ich habe ausreichend unverplante Zeit für Spontanität.
- 5 Eigen- und Fremdzeit sind synchronisiert.





Reiseverbot & Rasenmähen

Leere Autobahnen wie zuletzt an den autofreien Sonntagen während der Ölkrise 1973: Um die Pandemie einzudämmen, schließt Deutschland seine Grenzen. Die Regierung bittet die Bevölkerung, zu Hause zu bleiben. Viele nutzen die Zeit für Gartenarbeit, Renovierung oder Heimwerken. Die Schlangen vor den Baumärkten und Gartencentern sind lang. © Getty Images

Griffith University zeigte, dass entschleunigte Menschen den »Value Action Gap« wesentlich leichter überwinden – also die Diskrepanz zwischen dem Wissen um nachhaltiges Verhalten und dessen Umsetzung. Auf der Auftaktveranstaltung des ersten Münchner Nachhaltigkeitskongresses vergangenes Jahr diskutierte der Fernsehmoderator und Astrophysiker Prof. Harald Lesch mit Zeitforschern über das Thema »Time is honey – Nachhaltige Zeitkultur und die Grenzen der Natur«. Das Fazit: Die Nonstop-Gesellschaft forciert die ökologische Krise. Durch den hohen Energie- und Ressourceneinsatz, auf dem unser beschleunigter Lebens- und Wirtschaftsstil basiert, werden die Kapazitäten und Systemgrenzen der Natur überschritten.

Obwohl belastbare Berechnungen im Projekt ReZeitKon noch ausstehen, konnte Erdmann anhand der vorliegenden Daten bereits erste Zusammenhänge erkennen. »Zum Beispiel verbrauchten Menschen, die ihr Leben als zu hastig empfanden, für die gleiche Kilometerzahl tatsächlich mehr Benzin als andere. Ihre Zeitnot schlug sich also in einem rasanteren, spritintensiveren Fahrstil nieder. Oder Menschen, die häufig Fertigprodukte aßen, wählten das schnellste Verkehrsmittel.« Mit dem Auto zur Fertigpizza aus der Tiefkühltruhe hetzen statt mit dem Fahrrad zum ressourcenschonend selbst gekochten Abendessen – Zeitknappheit hat auf sehr vielen Ebenen Folgen für die Umwelt. Erdmann und seine Kollegen wollen in dem Simulationsmodell zur Umweltfolgenabschätzung zusätzlich einen wichtigen Faktor berücksichtigen, der bei bisherigen Untersuchungen außen vor blieb: die Verwendung der eingesparten Zeit und deren ökologischen Fußabdruck.

Moderne Gesellschaften, so führt Erdmann aus, seien gekennzeichnet durch ein Auseinanderfallen der Eigenzeit,

also der Zeit, über die ich frei bestimmen kann, und der Fremdzeit, also die Zeiten anderer Menschen und infrastrukturelle Rahmenbedingungen wie Ladenöffnungszeiten oder vorgegebene Arbeitszeiten. Je nach Lebenssituation und Typ leidet der eine mehr, der andere weniger unter Synchronisationsschwierigkeiten. Es gibt beschleunigende Effekte wie die Erwartung, schnell auf E-Mails zu reagieren, aber auch entlastende Effekte wie flexible Arbeitszeiten. »Wenn wir von Zeitwohlstand sprechen, spielt die Eigenzeit eine entscheidende Rolle. Sie wird häufig hintangestellt. Aber ohne Berücksichtigung der Eigenzeit lassen sich auch andere Zeiten wie Arbeits-, Kinder- oder soziale Zeit nicht gut ausfüllen. Sie ist eine wichtige Ressource.«

Vom Zeitnotstand zum Zeitwohlstand

Um von dem Zeitnotstand in den Zeitwohlstand zu kommen, seien, so glauben die Forscher, die Vermittlung von Zeitgestaltungskompetenz, Achtsamkeitstraining oder das Ausprobieren neuer Arbeitszeitmodelle wichtige Maßnahmen. Interventionsstudien in Schulen, in verschiedenen Unternehmen und im Privatleben sind geplant. So soll ein Ratgeber zu Zeit und Nachhaltigkeit entstehen.

Hat Lorenz Erdmann durch seine Forschung selbst schon zu mehr Zeitwohlstand gefunden? »Ich glaube, dass mein Bewusstsein für die Zeitdiebe gewachsen ist. Mein Umgang mit digitalen Medien ist sehr zielorientiert. Ich habe beispielsweise die Signaltöne für einkommende Nachrichten deaktiviert, weil ich in meinen Arbeitsphasen nicht unterbrochen werden will. Meine Eigenzeit ist mir heilig, da fordere ich von anderen Respekt ein. Man ist immer sehr verleitet, Zeit wie ein Sparguthaben zu verwalten. Aber Zeit lässt sich im Gegensatz zu Geld nicht horten. Sie vergeht einfach.« ■

»Es geht um Geld und Leben«

Wenn wichtige Entscheidungen bei schwieriger Datenlage getroffen werden müssen, schlägt die Stunde der Mathematik. Prof. Anita Schöbel, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern, freut sich über die wachsende Beliebtheit des Fachs. Wir sprachen mit ihr über Möglichkeiten und Grenzen der Mathematik.

Interview: Mandy Bartel

Wie kann Mathematik helfen, in Krisen fundierte Entscheidungen zu treffen?

Schöbel: Gerade wenn man viele Unbekannte hat, ist Mathematik ein hilfreiches Werkzeug. Wir analysieren zuerst, welche Daten und Angaben unsicher sind und wie groß der Einfluss dieser Unsicherheiten auf die Lösungsstrategien ist. Dazu können wir mit Modellen der robusten bzw. stochastischen Optimierung den besten und den schlimmsten Fall berechnen. Dadurch lassen sich komplexe Probleme viel genauer spezifizieren. Man sieht klarer die Auswirkungen und erhält eine bessere Planungsgrundlage. Im Fall der Pandemie hat zum Beispiel die Dunkelziffer einen erheblichen Einfluss auf die weitere Ausbreitung. Wir konnten berechnen, dass selbst bei sehr hoher Dunkelziffer das Erreichen der Herdenimmunität bei einer kontrollierten Durchseuchung zwei bis drei Jahre dauern würde. Es wäre also eine denkbar schlechte Variante, bis dahin zu warten. Stattdessen ist eine schnelle und konsequente Eindämmung der beste Weg.

Wie verlässlich sind solche Prognosen?

Ein Modell ist nie besser als die Annahmen, mit denen man rechnet. Zudem passiert immer Unvorhergesehenes: Es gibt neue Erkenntnisse in der Medizin, eine höhere Grundimmunität als angenommen oder es wird schneller ein Impf- oder Wirkstoff entwickelt. Man kann sagen: Unter den momentan getroffenen Annahmen sind die Prognosen durchaus verlässlich. In der angewandten Mathematik versuchen wir ja, fehlende Parameter so zu schätzen, dass sie zum bisherigen Verlauf passen. Dabei ist es ein großes Kunststück, richtig zu modellieren, also mathematische Modelle für ein reales Problem zu erstellen. Leider wird dies an den Universitäten viel zu selten gelehrt. Dort rechnet man mit einem gegebenen Modell und nimmt an, das Modell ist richtig.

Wurden aus mathematischer Sicht die richtigen Maßnahmen getroffen?

Die Maßnahmen waren besonnen und richtig. Sie kamen zur richtigen Zeit und waren zum Glück auch nicht so streng wie in anderen Ländern. Das Problem ist: Wenn man das Schlimmste verhindert, wissen die Menschen die Anstrengungen nicht zu schätzen. Es ist ja nichts passiert. Es ist schwer, sich vorzustellen, was exponentielles Wachstum wirklich bedeutet – es kann beunruhigend schnell passieren, dass die Intensivbetten eben nicht mehr ausreichen.

Bis zu welchem Grad lassen sich die Auswirkungen von Politik in komplexen Systemen berechnen, beispielsweise der Einfluss ihrer Beschlüsse auf die Wirtschaft?

Darüber diskutieren wir zurzeit am Institut und auch mit Wirtschaftswissenschaftlern. Leider gestaltet sich das nicht so einfach, epidemiologische und wirtschaftliche Berechnung einander gegenüberzustellen, da es sehr viele kaum abzuschätzende Faktoren gibt: Wie leistungsfähig ist die Wirtschaft noch bei welcher Härte und welcher Art an Restriktionen? Wie wirken sich Lockerungen auf verschiedene Wirtschaftszweige aus und wie entwickelt sich der Reproduktionsfaktor, den man dann wieder mit den wirtschaftlichen Faktoren koppeln müsste. Da gibt es sehr viele Facetten, die eine seriöse Berechnung derzeit erschweren.

Lässt sich berechnen, ab wann die Folgen einer Maßnahme schwerer wiegen als das, was man damit verhindern will?

Dafür gibt es mathematische Disziplinen. Zum Beispiel betrachten wir in der multikriteriellen Optimierung verschiedene Zielfunktionen gleichzeitig und finden die beste Kompromiss-

»Das Problem ist: Wenn man das Schlimmste verhindert, wissen die Menschen die Anstrengungen nicht zu schätzen.«



Prof. Anita Schöbel leitet seit 2019 das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern.

»Wir haben Visualisierungstools entwickelt, an denen man sehr gut die Zusammenhänge der Faktoren sehen kann.«

lösung daraus. Das hilft konkret bei der Entscheidungsfindung. Am ITWM haben wir dafür auch Visualisierungstools entwickelt, an denen man sehr gut die Zusammenhänge der Faktoren sehen kann. Ein schönes Beispiel dafür ist – in einem ganz anderen Zusammenhang – die Bestrahlungstherapie bei Krebs. Dort können wir präzise berechnen, mit welcher Strahlendosis sich ein Tumor noch wirkungsvoll zerstören lässt, ohne dass sie die umliegenden Organe zu sehr angreift.

Und wie kann die multikriterielle Optimierung in der momentanen Situation helfen?

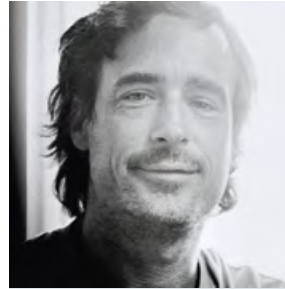
Schwer wird es dann, wenn mehrere komplexe Systeme wie Gesundheits-, Wirtschafts- und Sozialsystem miteinander interagieren. Vor allem, wenn uns Daten fehlen, weil es einen solchen Lockdown noch nie gab. Hier können wir aber viel lernen für künftige Krisen. Wichtig ist: In der öffentlichen Diskussion wird es oft verkürzt so dargestellt, als ob der Widerspruch wäre: Geld oder Leben. Das ist es jedoch nicht! Es nützt auch der Wirtschaft, die Epidemie schneller einzudämmen, als über Jahre hinweg mit wechselnden Maßnahmen zu versuchen, den Reproduktionsfaktor gering zu halten. Es geht also um Geld UND Leben. Und unsere Strategie zielt darauf ab, den besten Kompromiss zwischen dem Schutz der Gesundheit und der Wirtschaft zu finden.

Welche Daten sollten vor allem gesammelt werden, um für künftige Herausforderungen zu lernen?

Aus epidemiologischer Sicht müssen wir lernen, mit welcher Maßnahme man die Ausbreitung eines Virus wie effizient verhindern kann. Auch die Auswirkung auf wirtschaftliche Faktoren wie Produktivität oder Arbeitslosigkeit muss analysiert werden. Zudem sind Auswertungen von Bewegungsdaten und Kontakten sinnvoll, um zu lernen, wie sich Bewegungsmuster bei welchen Maßnahmen ändern, um später Übertragungen effizient zu verhindern.

Welche Themen werden nach dieser Krise wichtiger werden als bisher?

Wir werden unsere Lieferketten und Vorratshaltung überdenken, um nicht von anderen Ländern abhängig zu sein. Zwar brauchen wir jetzt mehr Atemmasken, aber in der nächsten Krise sind vielleicht ganz andere Produkte gefragt. Da müssen wir allgemeiner denken. Auch Meldekettensysteme werden sicher überarbeitet, um schneller an wichtige Informationen zu kommen. Eine flexiblere Personalplanung, etwa bei Gesundheitsämtern, wird wichtiger. Zudem werden wir bewusster mit Reisen umgehen, vor allem Geschäftsreisen, denn die Krise hat gezeigt, dass sich auch digital vieles besprechen lässt. ■



Vom Lockdown zur Lockerung

Fotograf der Titelgeschichte ist **Philipp Horak**: vom »Kippbild«, dem Lentikulardruck auf dem Cover, bis zu den Porträts der Fraunhofer-Forschenden. Begonnen hat er die Produktion in der ersten Woche, als die Reise wieder möglich war – im Gepäck **die jeweils personalisierten Masken** und die Idee, den Sprung vom Lockdown in die neue Lockerung fotografisch zu dokumentieren. Persönlicher Vorteil: Seine eigene Corona-Infektion hatte er zuvor schon unbeschadet überstanden.

Horak, 1976 in Wien geboren,

fotografiert für österreichische und deutsche Medien, darunter »Die Zeit«, »stern« und »Geo«. »Die Reise fürs Fraunhofer-Magazin war geprägt von diesem Gefühl der ersten Öffnung«, sagt Horak. Dem Wiener fehlte eines in dieser Umbruchzeit allerdings doch sehr: »Es gab keine **Kaffeehäuser**.«

Führung, Daten, Innovation – unser Pfad für stärkere Resilienz

Europas größte Stärken liegen in den Köpfen der Bürger: in ihrem Forscher- und Pioniergeist, in ihrer Kreativität und in ihren freien Gedanken. Europa kann stärker aus der Krise hervorgehen, wenn wir den größtmöglichen Raum zur Entfaltung erhalten – und wenn mehr in Bildung und Forschung investiert wird.

Ein Gastbeitrag von Oliver Zipse,
Vorsitzender des Vorstands der BMW AG

»Der Digitalisierungsschub, den die Krise beschleunigt hat, bringt die Gesellschaft in vielen Bereichen spürbar voran.«

Corona hat die Uhren auf null gestellt – das öffentliche Leben stand für viele Wochen sprichwörtlich still. Entstanden ist eine Krise in globalem Ausmaß, die nicht nur eine gesundheitliche Komponente hat, sondern auch eine wirtschaftliche. Der weitere Verlauf der Pandemie ist noch immer ungewiss. Klar ist aber schon jetzt: Die Weltwirtschaft rutscht 2020 in eine tiefe Rezession, der IWF prognostiziert minus drei Prozent. Viele Unternehmen befinden sich in bedrohlicher Schieflage, einige mussten bereits Insolvenz anmelden. Dazu kommen starke regionale Unterschiede, die wir am Automobilabsatz ablesen können: Während zum Beispiel in Großbritannien im ganzen April und bis weit in den Mai hinein fast keine Autos mehr zugelassen wurden, bewegt sich der chinesische Markt für die BMW Group im gleichen Zeitraum bereits wieder über Vorjahresniveau. In dieser Situation stellt sich die Frage, nach welchen Prämissen Unternehmen und ganze Volkswirtschaften gesteuert werden können, um den Weg zurück zu Wachstum und Normalität zu finden.

In einer Phase mit harten Einschnitten und hoher Ungewissheit gewinnen Entscheidungen an Tragweite: Sie sind wichtiger denn je und müssen konsequent getroffen werden. Mit wachsender Unsicherheit steigt dabei auch das Konflikt-

potenzial, welcher Weg der richtige ist – oder sein kann. Wer führt, der muss auf unbekanntem Terrain Orientierung geben, Konflikte auflösen und gleichzeitig mehr denn je mit verantwortlichen Entscheidungen in Vorleistung für die zukünftige Entwicklung gehen.

Daten als Entscheidungsgrundlage – und die möglichst umfassend

Hilfreich dabei sind – und wir haben heute mehr denn je die Möglichkeiten dazu – möglichst umfassende Datengrundlagen zur Entscheidungsfindung. Bisherige Prognosemodelle zur Marktentwicklung müssen ergänzt werden mit übergreifenden Daten wie dem aktuellen Stand der Pandemieforschung sowie den Krisenbewältigungserfolgen und Maßnahmen einzelner Regionen. Live-Daten zu Mobilitäts- und Käuferverhalten, Analytics zu Konsum, Mobilarbeit und Reiseverhalten sowie zur Auslastung des öffentlichen Nahverkehrs geben Anhaltspunkte zur Rückkehr des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens. Der Digitalisierungsschub, den die Krise beschleunigt hat, bringt die Gesellschaft in vielen Bereichen spürbar voran, wird uns flexibler und anpassungsfähiger machen und damit zu mehr Resilienz nach der Krise führen.



An die Spitze gearbeitet: Oliver Zipse startete bei BMW als Trainee. Das war 1991. Er blieb sein ganzes Berufsleben. Im August 2019 übernahm er das Amt des Vorstandsvorsitzenden der BMW AG.
© Thomas Meyer/Ostkreuz

Oliver Zipse

...trat 2015 in den Vorstand der BMW AG ein. Er verantwortete das Ressort Produktion. Zuvor hatte er unter anderem das Mini-Werk in Oxford geleitet.

...studierte Informatik und Mathematik in Salt Lake City und an der Technischen Hochschule Darmstadt Maschinenbau. Er schloss als Diplom-Ingenieur ab.

...ist am 7. Februar 1964 geboren in Heidelberg und aufgewachsen im südhessischen Bensheim. Er ist verheiratet und hat zwei erwachsene Söhne.

Viele Unternehmen stehen vor harten Einschnitten

– auch die BMW Group stellt zahlreiche Projekte auf den Prüfstand. Dabei muss jedoch unbedingt die technologische Vorentwicklung geschützt werden. Denn Technologien, die sich jetzt im frühen Stadium befinden, werden in einigen Jahren einen Innovationsvorsprung ermöglichen. Was jetzt gestoppt wird, ist für die Zukunft womöglich unwiederbringlich verloren. Dazu zählen unter anderem Investitionen in die Software im Fahrzeug wie die nächste Generation der Betriebssysteme und Vernetzung, in digitale Infrastruktur oder als konkretes Beispiel auch in Quantencomputer, ein Projekt, das Fraunhofer auf europäischer Ebene vorantreibt. Klassische Investitionen in Sachanlagen hingegen lassen sich leichter auf der Zeitachse verschieben, ohne die eigene Innovationsstärke zu schwächen. Auf die politische Ebene gemünzt bedeutet das, die aktuellen staatlichen Investitionen zur Existenzsicherung von Unternehmen mit Rahmenbedingungen zu begleiten, innerhalb derer Unternehmen künftig wieder unabhängig von staatlichen Unterstützungsmaßnahmen aus eigener Kraft wachsen können und in der sich Innovationstätigkeit entfalten kann. Schließlich sind viele Branchen nicht deswegen in eine Schieflage geraten, weil das Geschäftsmodell nicht funktioniert, sondern weil

aufgrund administrativer Entscheidungen eine Ausübung nicht möglich war.

Europas größte Stärken liegen in den Köpfen der Bürger: In ihrem Forscher- und Pioniergeist, in ihrer Kreativität und ihren freien Gedanken. Das sollten wir fördern und ihnen den größtmöglichen Raum zur Entfaltung geben, damit Europa stärker aus dieser Krise hervorgeht. Das bedeutet mehr positive Impulse statt pauschaler Verbote, mehr Investitionen in Bildung und Forschung statt nachträglicher Umverteilung.

Luft für einen echten Bildungsvorsprung

Die deutschen Bildungsausgaben liegen zwar kaufkraftbereinigt pro Bildungsteilnehmer über dem OECD-Durchschnitt. Aber gemessen an der Wirtschaftskraft sind die Ausgaben für formale Bildungseinrichtungen mit 4,2 Prozent des BIP deutlich unter dem OECD-Durchschnitt von 5 Prozent und haben noch Luft, um digitale Kompetenzfelder zu stärken und einen echten Bildungsvorsprung zu erarbeiten. Das macht auch unsere Wirtschaft anpassungsfähig, reaktionsschnell und zukunftssicher. Wir haben die richtigen Zutaten für ein hohes Maß an Resilienz. ■

»Wir haben die richtigen Zutaten für ein hohes Maß an Resilienz.«

»Das Corona-
virus ist der
Stresstest
für unsere
Medizin,
Wirtschaft
– und Gesell-
schaft. Und
den, finde ich,
haben wir
gemeinsam
bisher gut
bestanden.«

Markus Söder



In der Krise gerne immer
einen Schritt voraus:
Bayerns Ministerpräsident
Dr. Markus Söder, 53,
in der Münchner Staats-
kanzlei. © Niels Starnick/
Bild am Sonntag

»Jetzt nicht einfach den Reset-Knopf drücken«

In der Covid-19-Pandemie hat Markus Söder seine Qualitäten als Krisenmanager unter Beweis gestellt. Im Interview mit dem Fraunhofer-Magazin fordert Bayerns Ministerpräsident einen Technologie-Sprung, um für Deutschland neue Chancen zu erschließen.

Interview: Josef Oskar Seitz

Herr Ministerpräsident, selten war die Verantwortung der Politik für Leib und Leben so spürbar wie in den vergangenen Monaten. Was waren die Nächte, in denen Sie schlecht geschlafen haben?

Söder: Das waren in der Tat einige. Gerade am Anfang der Pandemie. Damals war völlig unklar, ob wir das bewältigen können. Wir hatten in Bayern bedingt durch die Grenzsituation zu Österreich und die Heimkehrer aus den Skigebieten hohe Zuwachsraten bei den Infektionen und jeden Tag viele neue Todesfälle. Ich war sehr, sehr besorgt – und oft auch schlaflos. Aber wir haben viel geschafft in Bayern in den letzten zwei Monaten. Die wesentlichen Infektionskennzahlen haben sich so verbessert, dass wir sagen können: Wir haben das Virus im Griff. Bayern ist – auch dank der Umsicht und Geduld seiner Bevölkerung – sehr viel besser aus der Krise gekommen als andere. Seither schlafe ich wieder etwas besser.

Stichwort Resilienz: Was tun Sie, um in turbulenten Zeiten wieder zu Ruhe und Klarheit zu finden?

Die Bewältigung der Krise hat das ganze Bayerische Kabinett sehr in Anspruch genommen. Wir haben quasi rund um die Uhr gearbeitet. Entspannung und Zeit zum Nachdenken ergeben sich beim Radfahren oder beim Spaziergang mit dem Hund. Aber auch die Familie ist ein Kraftquell für mich. Und manchmal hilft auch ein Gebet beim Ordnen der Gedanken.

In Ihrer Aufgabe als Krisenmanager haben Sie laut Meinungsumfragen immer wieder Bestnoten erhalten. Haben Sie sich von der Wissenschaft gut unterstützt gefühlt?

Auf jeden Fall. Bei Corona gilt das Primat der Medizin. Deswegen standen und stehen wir mit unseren Experten aus Virologie, Epidemiologie, Medizin und den Unikliniken in ständigem Austausch. Für diese Beratung kann man sich gar nicht oft genug bedanken. Die Kritik an den Ratschlägen der Virologen kann ich nicht wirklich nachvollziehen. Man kann doch nicht den Arzt dafür kritisieren, dass man krank ist oder

dass einem die Therapie nicht passt! Das Virus ist die Herausforderung, nicht die Virologen. Wir haben außerdem eine Monitoring-Gruppe mit einer Theologin und zwei ehemaligen OLG-Präsidenten für die juristischen Fragen eingesetzt. Und wir beraten uns mit Experten aus der Wirtschaft, wie der ökonomische Neustart nach der Krise am besten gelingen kann.

So schnell wie kaum jemals zuvor kamen wissenschaftliche Erkenntnisse in die aktuelle Diskussion. An welchen Stellen ist das Verhältnis von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit verbesserungsfähig?

In dieser noch nie dagewesenen Krise haben bisher alle einen ganz guten Job gemacht, finde ich. Klar kann man rückblickend sagen, da wäre das ein oder andere noch verbesserungsfähig gewesen. Mancher wünscht sich von der Wissenschaft vielleicht schneller einen Impfstoff, der Nächste von der Politik längerfristige Aussagen, aktuell z. B. die Planungen für den Sommerurlaub betreffend. Aber Corona ist für alle neu! Das Coronavirus ist der Stresstest für unsere Medizin, Wirtschaft – und Gesellschaft. Und den, finde ich, haben wir gemeinsam bisher gut bestanden.

Zugang zu Wissen war noch nie so einfach. Woher kommt gerade jetzt die Lust am Glauben, an Fragwürdigkeiten, an Fake?

Vielleicht liegt das genau an diesem einfachen Zugang zu Informationsquellen unterschiedlichster Seriosität. Wer schnell an alle Erkenntnisse kommt, muss auch damit umgehen können. Er muss sortieren können und auch wollen: Welche Quelle im Internet ist vertrauenswürdig, welche gibt nur Nonsens von sich? Es gibt Menschen, die sich in einer schweren Krise in einfache Antworten flüchten. Ihnen muss man erklären, dass die Welt leider nicht so einfach ist. Dann gibt es aber auch Menschen, die ganz gezielt Verunsicherung schüren und Verschwörungstheorien verbreiten, um unserem Land zu schaden. Das sind Feinde der Demokratie, die muss man bekämpfen.

Welche Verschwörungstheorie ärgert Sie gerade am meisten? ▶

»Ich war sehr, sehr besorgt – und oft auch schlaflos. Aber wir haben auch viel geschafft.«

Markus Söder

»Wir müssen lernen – und das ist die größte Herausforderung –, ein Problem nicht nur isoliert zu sehen, sondern die Problemlagen vernetzt zu denken. Wir brauchen daher den Ansatz über Technologie und Digitalisierung, müssen aber auch beim Klimaschutz und bei der Energie beschleunigen.«

Markus Söder

► Ich habe Verständnis für Demonstrationen. Das Recht auf freie Meinungsäußerung und die Versammlungsfreiheit gehören zu den Grundpfeilern unserer Demokratie. Aber es gibt den klaren Versuch von einigen extremen Gruppen, den verständlichen bürgerlichen Wunsch nach mehr Freiheit zu kapern und zu instrumentalisieren. Da werden Ängste geschürt. Warum z. B. redet man von einer Impfpflicht, obwohl noch überhaupt kein Impfstoff existiert. Jeder muss genau aufpassen, dass er sich nicht manipulieren lässt. Den Abstand bei der Demo sollte man nicht nur körperlich, sondern auch geistig halten.

Zurück zur Realität. Welche Stärken haben uns in Deutschland geholfen, der Krise vergleichsweise unbeschadet zu begegnen?

Wir sind diese Pandemie gemeinsam, ohne Panik, aber mit großem Ernst, angegangen. Dabei waren Bayerns Behörden im Gleichklang mit dem Bund und den anderen Ländern, auch mit unseren Nachbarn im Ausland wie zum Beispiel Österreich. Die Staatsregierung agierte Hand in Hand mit den Kommunen, den Rettungsdiensten und dem medizinischen Personal vor Ort. Jeder hat seine Pflicht getan. Wir haben in maximaler Geschwindigkeit unser Gesundheitssystem hochgefahren und gleichzeitig durch entschlossenes Handeln die Infektionen verlangsamt. Das wäre nicht möglich gewesen ohne die große Geduld und Unterstützung der Bevölkerung in ganz Deutschland: Die Bürgerinnen und Bürger in ganz Deutschland haben die Maßnahmen zum Schutz vor Corona großartig mitgetragen – dafür an alle großen Dank. Bilder wie in Italien und Spanien, aber auch USA und Großbritannien sind uns so Gott sei Dank erspart geblieben.

Häufig ist der Satz zu hören: »Nichts wird mehr sein, wie es war«. Was werden wir verlieren?

Die Frage muss doch sein, was wir gewinnen können. Bis wir einen Impfstoff haben, wird unser Alltag nicht einfach so weitergehen wie vorher. Wir müssen lernen, mit der Pandemie zu leben. Wir müssen uns fragen, wie wir uns das nächste Mal für eine solche Herausforderung besser wappnen. Und wir müssen unsere Lehren aus der Krise ziehen und stärker werden.

Wie können wir durch die Krise gewinnen? Wo entstehen neue Chancen, auch um Transformationsprozesse voranzutreiben?

Wir müssen in Deutschland einen Technologiesprung schaffen. In den letzten Jahren hat sich ein internationales Ungleichgewicht aufgebaut gegenüber China und den USA – bei der Digitalisierung, bei Robotik und bei künstlicher Intelligenz. Da müssen wir jetzt aufholen – mit einem massiven Hightech-Programm auf nationaler Ebene.

Sind Nachhaltigkeit und Wertschöpfung Gegensätze?

Beides muss in Zukunft noch enger verzahnt werden. Wir dürfen für die Wirtschaft jetzt nicht einfach den Reset-Knopf drücken, sondern müssen diese Krise auch für die Ökonomie als Chance nutzen und beschleunigt neue Wege gehen. Wer zum Beispiel sagt, wir brauchen keinen Klimaschutz mehr, wir brauchen nur noch das klassische Wachstum um jeden Preis, wird bald erkennen, dass es in dieser globalisierten und veränderten Wirtschaft so nicht einfach zu machen ist. Wir müssen lernen – und das ist die größte Herausforderung –, ein Problem nicht nur isoliert zu sehen, sondern die Problemlagen vernetzt zu denken. Wir brauchen daher den Ansatz über Technologie und Digitalisierung, müssen aber auch beim Klimaschutz und bei der Energie beschleunigen.

Innovationen gelten als der Motor der deutschen Wirtschaft. Wie lässt sich sicherstellen, dass auch in Krisenzeiten Forschung und Entwicklung weitergetrieben werden?

Zum einen ist es angesichts der Exportprobleme wichtig, gerade die Binnennachfrage in Deutschland zu stärken, z. B. über eine Innovationsprämie für emissionsarme Autos. Das setzt für die Autoindustrie weitere Forschungsanreize. Wir wollen außerdem die maximale Forschungszulage ausbauen und weitere Abschreibungsmöglichkeiten schaffen. Wir müssen über bürokratiefreie Durchstarterjahre für Unternehmensgründer nachdenken. Und schließlich die Hightech Agenda in Bayern beschleunigen – und im Bund neu aufsetzen.

1974

Der kleine Markus im Weihnachtsfoto. Als Schulkind gab es für jede gute Note Süßes, verriet der heutige Ministerpräsident später. Mit Erfolg: Abi-Note war 1,3.
© Instagram



1986

Den Grundwehrdienst leistete Markus Söder beim Transportbataillon 270 in Nürnberg. Später erinnert er sich an »Mängel in der Inneren Führung«.
© Instagram



1997

Die Politkarriere des Markus Söder nimmt Fahrt auf – wenn auch anfangs mit dem Fahrrad. Bis 2008 war er Vorsitzender des CSU-Kreisverbandes Nürnberg-West.
© Instagram



Räumlich auf Distanz, inhaltlich so nah wie selten, persönlich beim »Du« angekommen – die politischen Hauptakteure während der Corona-Krise: Bundeskanzlerin Angela Merkel und Markus Söder, Vorsitzender der Ministerpräsidentenkonferenz, bei einem Treffen in Berlin. © imago images

In welchen Bereichen muss sich Deutschland künftig besser auf Krisenereignisse vorbereiten?

Es ist wichtig, unser Gesundheitssystem weiter zu stärken und auszubauen. Wir brauchen auch mehr nationale Souveränität bei bestimmten Notfallgütern, beispielsweise der Medizin, um nicht abhängig zu sein von internationalen Lieferketten. Und schließlich darf es nicht zu einem »Ausverkauf« von systemrelevanten Industrien oder Betrieben in Krisenzeiten kommen. Auch dafür müssen wir Vorsorge treffen.

Was kann der Bund tun, um Bayern – und das ein oder andere Bundesland daneben – in schwierigen Zeiten zu unterstützen?

Die Bundeskanzlerin hat Deutschland hervorragend durch die Krise geführt, dafür gebührt ihr unser aller Dank. Der Bund hat in der ersten Phase der Krise ein exzellentes, in Europa einma-

liges Wirtschaftsprogramm vorgelegt, was mit dem bayerischen eng verzahnt war. Der Bundesfinanzminister war erstmals im bayerischen Kabinett. Es gab eine hochqualifizierte und hervorragende Diskussion mit nahtloser Übereinstimmung. Der Bundesgesundheitsminister hat sich von Anfang an hochengagiert und erfolgreich um die medizinische Versorgung gekümmert. Das hat aus bayerischer Sicht hervorragend funktioniert, für diese Unterstützung kann ich mich nur noch einmal bedanken. Ich wünsche mir, dass dieser gemeinsame Geist sich auch auf die jetzt anstehende Durchstart-Phase überträgt. Vorschläge aus der wirtschaftspolitischen Mottenkiste wie eine Altschuldentilgung von Kommunen oder Corona-Bonds gehören nicht dazu.

»Die Frage muss doch sein, was wir gewinnen können.«

Markus Söder

Sie werden häufig als Kanzlerkandidat genannt. Hat es einen Reiz für Sie, als Kanzler künftig noch mehr für Bayern und den Bund zu tun?

Mein Platz ist und bleibt in Bayern. ■



2004
Ähnlichkeiten bis in die Gestik: Als Staatssekretär mit Ministerpräsident Edmund Stoiber, der als Söders Mentor gilt. © ddp images



2018
Ganz oben in Bayern: mit 99 von 169 Stimmen zum Ministerpräsidenten gewählt. © ddp images



2020
Ganz oben in Deutschland: Bestnoten als Krisenmanager laut Umfragen zu Corona-Zeiten. Im Mai ermittelte Infratest: 53 von 100 Befragten halten Markus Söder für einen guten Kanzlerkandidaten. © ddp images

Corona auf der Spur

Möglichst schnell muss es gehen von der Entnahme menschlichen Gewebes bis zur Therapie. Mehrere Projekte der Fraunhofer-Institute MEVIS und IIS verschaffen Pathologen einen kleinen Vorsprung in ihrem anspruchsvollen Kampf gegen die Krankheit.

Text: Sabine Spinnacke

Das Gewebe der Corona-Toten liegt auf fünf Glas-trägern. Diese sind eingepasst in ein Tablett, das Dr. Carol Geppert in den Händen hält. Er ist Oberarzt der Pathologie der Universitätsklinik Erlangen und mustert die hellroten Flächen in der feinen Struktur des Lungengewebes. Es sind Ödeme. »Eigentlich sollte hier alles weiß sein«, sagt Dr. Geppert. Als seine Kolleginnen und Kollegen die ersten Corona-Opfer obduzierten, fanden sie Einblutungen in Lunge und Kopf. »Was wir gesehen haben, ist wichtig für die behandelnden Ärzte. Jetzt können sie versuchen, die Gefahr einer gestörten Gerinnungsneigung zu minimieren«, erläutert der Pathologe.

An der RWTH Aachen sammelt Prof. Ruth Knüchel-Clarke in einem zentralen Register die Daten aller obduzierenden Pathologien. Vernetzung und Digitalisierung sind zwingende Voraussetzungen, um im Umgang mit neuartigen Viren oder altbekannten Krankheiten global und schnell reagieren zu können – in deutschen pathologischen Instituten aber noch lange keine Selbstverständlichkeit. Dr. Geppert, sein Kollege Prof. Christoph Brochhausen-Delius, stellvertretender Direktor des Instituts für Pathologie der Universität Regensburg, und weitere Kolleginnen und Kollegen arbeiten eng mit den Fraunhofer-Instituten für Integrierte Schaltungen IIS und Digitale Medizin MEVIS zusammen. Gemeinsam suchen sie nach Wegen in eine digitale Pathologie. »Mit unseren Projekten wollen wir den Workflow im Labor optimieren, die Genauigkeit und Robustheit von KI-Lösungen in der Diagnose erhöhen und die Transparenz und damit Akzeptanz von KI in der Pathologie verbessern«, sagt Volker Bruns. Er ist Gruppenleiter Medizinische Bildverarbeitung am Fraunhofer IIS; ein Informatiker, der in den Medizinern ideale Sparring-Partner gefunden hat. Auch Prof. Brochhausen sieht in der interdisziplinären Zusammenarbeit eine Bereicherung: »Manche Wünsche an die KI hielten wir für Traumtänzeri. Doch dann konnte uns das Team um Volker Bruns mit seinem Spezialwissen Lösungsansätze präsentieren.«

Bevor ein Pathologe diagnostisch tätig wird, geht das entnommene Gewebe erst einmal ins Labor. Hier ist das Projekt PathoScan angesiedelt. Initiiert hat es der Digitalmikros-

kop-Hersteller PreciPoint, wissenschaftliche Partner sind das Fraunhofer IIS, die Technische Universität München und die Regensburger Pathologie. »Das Präparieren im Labor erfordert ein hohes Maß an Spezialwissen und manueller Kunstfertigkeit«, sagt Prof. Brochhausen. Da menschliches Gewebe höchst unterschiedlich beschaffen ist, kann es im Gegensatz zu Blut kaum automatisiert verarbeitet werden. Die von Hand getätigten Schnitte sind maximal fünf Mikrometer dünn – ein Haar misst rund 60 Mikrometer.

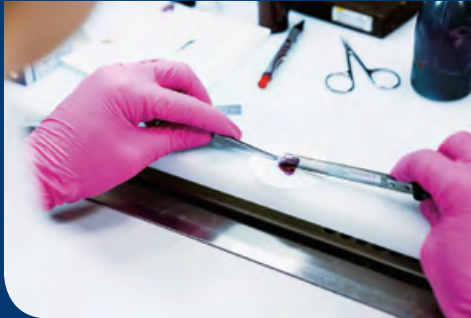
Den gesamten Workflow vom Probeneingang bis zum Befunden bildet PathoScan ab: Alle Informationen über den Patienten, das Krankheitsbild, die gewünschten Untersuchungen werden künftig digital erfasst, ausgewertet und weitere Schritte sogleich automatisiert in Gang gesetzt. »Wenn eine Untersuchung zum Beispiel eine Spezialfärbung erfordert, kann diese sofort vorbereitet werden«, erklärt Prof. Brochhausen. Ein kleiner Zeitgewinn, denn bisher wurden diese Präparate in die Pathologie zur Befundung nachgereicht. Das System erlaubt es beispielsweise, eine Herzbiopsie schneller durchs Labor zu schleusen als einen Meniskus, dessen Behandlung nicht ganz so zeitkritisch ist. Systeme für den Transport und das Handling der Proben entwickeln PreciPoint und HTI Automation. Mit ihren Mikroskopen und Handling-Einheiten werden alle Proben am Ende der Kette digitalisiert und automatisiert auf Qualitätsmängel hin untersucht. Im Gegensatz zu herkömmlichen Geräten können ihre Systeme bis zum Schluss die Scan-Reihenfolge je nach Dringlichkeit ändern und defekte Präparate ausschleusen. Für die Alltagsroutine ein wichtiger Punkt.

Um die Qualität eines Präparates erkennen zu können, trainiert das Team um Volker Bruns ein neuronales Netz. »Die KI lernt nach und nach, selbstständig zu entscheiden, ob das Präparat komplett unbrauchbar, nur unschön oder in Ordnung ist«, so Bruns. Da die Labors der TU München und der Uniklinik Erlangen höchst unterschiedlich sind, wird PathoScan einmal universell einsetzbar sein.

Geppert hat in seinem Büro unterm Dach inzwischen einen der Glasträger unter das Mikroskop gelegt. Um ihn herum

»Mit unseren Projekten wollen wir die Transparenz und damit Akzeptanz von KI in der Pathologie verbessern.«

Volker Bruns,
Fraunhofer IIS



Maximal fünf Mikrometer dünn sind die Gewebe – geschnitten von Hand. Die Scheiben werden entwässert, in Paraffin gegossen und eingedeckt.

© links Precipoint, rechts Sabine Spinnarke

stapeln sich Boxen und Mappen mit Objektträgern. Rund 250 Einsendungen mit Gewebeproben erhält die Erlanger Pathologie täglich. Aus jeder Einsendung gewinnen die medizinisch-technischen Assistenten im Labor bis zu 20 Schnitte, die den 15 Fachärztinnen und -ärzten zur Befundung vorgelegt werden. Die Zeit für jeden Befund ist also knapp bemessen, und Dr. Geppert würde sich freuen, wenn es mehr KI-Lösungen gäbe, die für klinische Diagnosezwecke bereits validiert und zugelassen wären. Diesen Prozess soll EMPAIA erleichtern. EMPAIA ist ein Ökosystem für die KI-unterstützte, bildbasierte Diagnostik, an dem das Fraunhofer MEVIS gemeinsam mit der Berliner Charité und weiteren Partnern arbeitet: »Das Projekt EMPAIA orchestriert Hersteller, Zertifizierer, Pathologen und Forscher, um die praktische Nutzung qualitätsgesicherter KI-Lösungen zu etablieren«, sagt der Experte Dr.-Ing. André Homeyer vom Fraunhofer MEVIS, der EMPAIA mitentwickelt.

»Eine ideale Aufgabe für KI«

Auf Dr. Gepperts Monitor erscheinen marmorierte Flächen in Weiß, Rosa und Lila, durchzogen von feinen und breiteren Linien – eine geheimnisvolle Landschaft. Das Bild stammt von der Kamera auf seinem Mikroskop. Allein aus den Formen und Farben kann ein Pathologe das Krankheitsbild ablesen, sich das Gewebe dreidimensional in den Körper integriert vorstellen und einschätzen, in welchem Stadium der Krankheit sich der Patient befindet. Formen und Farben analysieren – genau dafür ist auch die intelligente Bildverarbeitung prädestiniert. Dr. Geppert zeigt exemplarisch, wie ein Algorithmus des Fraunhofer IIS verschiedene Gewebetypen unterscheiden und Adenokarzinome in Darmgewebeschnitten finden kann. Auf dem entsprechenden Scan sind wie mit einem Textmarker große Bereiche gelb hervorgehoben. Der Arzt deutet in das Bild: »Hier hat der Algorithmus den gesamten Tumor korrekt identifiziert.« Die farblich unterschiedliche Markierung von Fett-, Muskel-, Nerven- und Krebsgewebe dient dem Pathologen als Orientierungshilfe. »Die Idee dahinter ist, die Invasionstiefe des Tumors durch andere Strukturen schneller zu erkennen«, meint er. Für das menschliche Auge ist der exakte Resektionsrand schwerer zu befunden. »Kleine Bereiche eines

Präparates, die relevant sein können für die Prognose des Patienten wie eine Blutgefäß- oder Lymphgefäßinfiltration durch ein Karzinom, findet das Werkzeug der Fraunhofer-Forschung künftig womöglich zuverlässig«, sagt Dr. Geppert. Das wäre eine echte Hilfe, denn würde der Patient in diesem Falle nicht behandelt, könnte der Tumor unbemerkt weiterwachsen.

In den KI-Projekten geht es auch um eine bessere Strukturierung von Befunden. »Die automatische Gewebephänotypisierung eröffnet viele Möglichkeiten, um den Tumor und dessen Mikro-Umgebung genau zu charakterisieren und so das individuelle Risiko des Patienten vorherzusagen«, bestätigt der Fraunhofer-Experte Bruns. Die Bildanalyse zeigt ihre Stärke in weiteren Projekten des Fraunhofer MEVIS. Dort werden neuartige bildbasierte Biomarker entwickelt. Dies sind spezielle Algorithmen, die auf Basis pathologischer Bilder die Aggressivität eines Tumors oder den Therapieerfolg vorhersagen. »In der Pathologie sind bildbasierte Biomarker ein Forschungsfeld, das noch am Anfang steht«, berichtet Homeyer. Die Algorithmen des Fraunhofer MEVIS berechnen aus komplexen Gewebemustern einen Score-Wert. »Das ist eine ideale Aufgabe für KI. Ein Mensch kann Tausende von Krebszellen oder Immunzellen und deren Muster nicht erfassen«, sagt Homeyer.

Die Kombination der Stärken von KI mit dem Wissens- und Erfahrungsschatz eines Pathologen ist ideal, um medizinische Herausforderungen zu bewältigen – seien es Tumorerkrankungen oder neuartige Viren. Prof. Brochhausen würde es in einem ersten Schritt ausreichen, wenn er und seine Kollegen ihre histologischen, ultrastrukturellen, also vom Elektronenmikroskop sichtbar gemachten Feinstrukturen und molekularen Befunde digital miteinander austauschen und diskutieren könnten. So bleibt noch Raum für weitere spannende Projekte in einem Fachgebiet, für das Homeyer Worte findet, die fast wie eine Liebeserklärung klingen: »Kein anderes Fachgebiet ist faszinierender als die Pathologie. Es gibt sie seit dem 19. Jahrhundert, und heute nutzt sie modernste Diagnostik, wie Immunbiomarker oder molekulare Tests, um komplexe Krankheiten umfassend zu charakterisieren. Damit legt sie den Grundstein für zielgerichtete und erfolgreiche Therapien.«

»Kein Fachgebiet ist faszinierender als die Pathologie.«

Dr.-Ing. André Homeyer,
Fraunhofer MEVIS

Neues Leben trotz Dürre

Wasser ist ein knappes Gut. Das machten die vergangenen Hitzesommer deutlich. Speziell aufbereitetes Abwasser kann als neue Quelle dienen – zum Beispiel für den Gemüseanbau.

Text: Christine Broll

Das Gewächshaus steht auf dem Gelände der Kläranlage in Wolfsburg-Hattendorf direkt neben dem Reinigungsbecken. Drinnen wachsen die saftig grünen Salatköpfe in langen Plastikrohren in Reih und Glied. Ihre Wurzeln stecken nicht in Erde, sondern in einer besonderen Nährlösung – speziell aufbereitetem Abwasser.

In dem vor Kurzem abgeschlossenen Forschungsprojekt HypoWave untersuchte das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB mit elf Partnern die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft. Als das Projekt Ende 2016 startete, ahnte niemand, wie trocken die Sommer 2018 und 2019 werden würden – die Forschung gewann von Jahr zu Jahr an Relevanz.

Dass das HypoWave-Gewächshaus auf dem Gelände einer Wolfsburger Kläranlage aufgebaut wurde, hat auch historische Gründe. »Anders als im restlichen Deutschland hat im Raum Braunschweig/Wolfsburg die Beregnung von Feldern mit gereinigtem Abwasser eine lange Tradition«, erklärt Dr. Marius Mohr, Leiter des Innovationsfelds Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung am Fraunhofer IGB und einer der Initiatoren von HypoWave.

Das gereinigte Abwasser wird im Gewächshaus aber nicht direkt genutzt. Denn es könnte Arzneimittelrückstände, Schwermetalle, Industriechemikalien oder pathogene Bakterien und Viren enthalten. Um das Abwasser aufzubereiten, testeten die HypoWave-Partner in Wolfsburg-Hattorf verschiedene Technologien. ▶





Sattes Grün auch in Zeiten großer Trockenheit? Das Projekt HypoWave schafft durch den intelligenten Einsatz von Abwasser neue Möglichkeiten. © *istock*

► Besonders gut bewährt haben sich die Ozonierung und ein Aktivkohle-Biofilter. Bei der Ozonierung werden Schadstoffe und Krankheitserreger durch die Oxidation mit Ozon eliminiert. Während die Ozonierung bereits heute in Kläranlagen eingesetzt wird, ist die Reinigung mit Aktivkohle-Biofiltern neu. Der Vorteil: In den Filtern können Schadstoffe sowohl adsorbiert als auch biologisch abgebaut werden.

»In dem Salat, der mit Wasser aus dem Aktivkohle-Biofilter bewässert wurde, konnten wir keine erhöhten Konzentrationen an Arzneimittelrückständen und pathogenen Keimen nachweisen«, erläutert Marius Mohr, der mit seinem Team daran arbeitet, die Abwasserbehandlungsstufen weiter zu optimieren.

»Wir konnten keine erhöhten Konzentrationen an Arzneimittelrückständen und pathogenen Keimen nachweisen.«

Wie gut die Salatpflanzen im Gewächshaus gedeihen, hat die Arbeitsgruppe von Dr. Jörn Germer von der Universität Hohenheim untersucht. Dass die Pflanzen nicht in Erde wachsen, war dabei nichts Neues. Denn in der Obst- und Gemüseproduktion wird der Anbau in Nährlösung, die Hydroponik, bereits industriell angewandt. Die Agrarökologen hatten vor allem die Nährstoffversorgung im Blick. »Abwasser enthält relativ viel Stickstoff und Phosphor, aber vergleichsweise wenig Kalium und Mikronährstoffe wie Zink und Eisen«, hat Germer festgestellt. Daher mussten diese Nährstoffe zugeführt werden.

Dr. Marius Mohr,
Fraunhofer IGB

Während im ersten Versuchsjahr noch ein permanenter Durchfluss durch die Rohre erfolgte, experimentierte das Forschungsteam im nächsten Jahr mit einem Kreislaufsystem. Nitrat-Sensoren überwachten dabei kontinuierlich den Stickstoff-Gehalt. Sank dieser unter zehn Milligramm pro Liter wurde das Wasser erneuert. »Damit gelang uns nicht nur eine Produktion auf hohem Niveau«, freut sich Germer. »Stickstoff und Phosphor konnten wir viel weitreichender aus dem Abwasser entfernen als ein konventionelles Klärwerk.«

Studien testen Akzeptanz

Um die neue Technologie möglichst schnell in die Anwendung zu bringen, untersuchten die Forscher in verschiedenen Regionen, wie groß das Interesse und die Akzeptanz sind. Dazu holten sie Abwasserverbände, Landwirte und Vermarkter an einen Tisch. Im Landkreis Gifhorn nördlich von Braun-

schweig analysierten sie die Umsetzung des Konzepts im ländlichen Raum, während sie in einer anderen Fallstudie die Metropolregion Rhein-Main betrachteten. In der belgischen Gemeinde Raeren ging es um den Anbau von Schnittblumen und im Alentejo Portugals um die hydroponische Nutzung von Abwasser mit anschließender Bewässerung von Oliven, Mandeln und Wein.

Gewächshaus könnte Kläranlage ersetzen

Besonders groß war das Interesse in Weißenberge im Landkreis Gifhorn. Hier war ein Landwirt von dem Projekt so überzeugt, dass er bereit ist, in ein Gewächshaus zu investieren. Auch der Wasserverband Gifhorn will sich beteiligen. Denn er verspricht sich von dem Projekt eine Kostenersparnis. Bislang wird das Abwasser des rund 500 Einwohner zählenden Orts Weißenberge in eine Klärteichanlage eingeleitet, wo es rund 90 Tage verweilt, ehe es in einen Bach eingeleitet wird. Langfristig ist der Anschluss an eine Kläranlage geplant, was hohe Investitionen erfordert.

»Gelingt es, die im Ablauf des Klärteichs enthaltenen Nährstoffe im hydroponischen Gewächshaus deutlich zu reduzieren, müsste Weißenberge nicht an eine Kläranlage angeschlossen werden«, erklärt Mohr. Wie das gelingen könnte, will er mit den Partnern vor Ort im Nachfolgeprojekt HypoWave Plus erforschen.

»Da die Bauern im Kreis Gifhorn in den vergangenen beiden Sommern nicht wussten, wie sie ihre Felder bewässern sollten, ist das Interesse an der Umsetzung eines solchen Vorhabens deutlich gestiegen«, hat Mohr beobachtet. Im nächsten Frühjahr soll die Wasseraufbereitung aufgebaut und getestet werden, sodass der Landwirt 2022 mit ausreichend Wasser sein Gewächshaus betreiben kann. Er plant, Gurken, Tomaten und Paprika anzubauen. Die Vermarktung ist bereits gesichert. Der örtliche Edeka-Markt ist Partner im Forschungsantrag und nimmt das Gemüse in sein Sortiment auf.

Marius Mohr blickt schon weiter in die Zukunft. Mit dem Leuchtturmprojekt in Weißenberge möchte er die Technologie bekannt machen und neue Interessenten gewinnen. ■

Vom Setzling zum Salat:
In dem Kreislaufsystem überwachen Nitrat-Sensoren den Stickstoff-Gehalt kontinuierlich. Bei Bedarf wird das Wasser erneuert.
© ISOE Wikom



Duft ja, Rauch nein!

Grillen liegt im Trend, auch in der Gastronomie. Das schmeckt den Gästen – und stinkt häufig den Nachbarn. Das Fraunhofer IBP arbeitet an alternativer Grilltechnologie. Für bessere Luft, weniger Feinstaub. Und eine gute Nachbarschaft.

Text: Britta Widmann

Abgasregel fürs Grillen:
je fettricher, desto be-
denklicher die Emissionen.
© Adobe Stock,
istockphoto

Vorsichtig platziert Dr.-Ing. Mohammad Aleya die Fleischspieße auf der Grillfläche. Der promovierte Ingenieur leitet das Fachgebiet »Verbrennungs- und Umweltschutztechnik« am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in Stuttgart. Der Wissenschaftler grillt nicht zum Privatvergnügen, sondern im Auftrag des Umweltbundesamts. Mit seinem Team untersucht er, welche Schadstoffemissionen aus gewerblichen Gastronomiebetrieben wie Holzkohlegrills, Pizza- und Brotbacköfen entweichen – und mit welchen Verfahren sich die Geruchsbildung und die Abgase minimieren lassen. ►



»Unsere Forschungen haben ergeben, dass Gastronomiebetriebe technisch nicht ausgereifte Grilltechniken verwenden.«

Dr.-Ing. Mohammad Aleya, Fraunhofer IBP

► **Immer mehr Gastronomiebetriebe** grillen für ihre Gäste, zumindest verzeichnen viele Kommunen eine Zunahme der Holzkohlegrills. Doch beim Grillen mit Holzkohle wird die Luft in der näheren Umgebung durch Feinstaub und viele andere nicht vollständig verbrannte Abgasbestandteile belastet. Oft stinken den Anwohnern Rauch und Grillgeruch gewaltig. Sie sorgen sich um mögliche gesundheitliche Folgen durch die Luftbelastung. Auch die Angestellten in den betroffenen Gastronomiebetrieben sind bei einer nicht ausreichenden Absaugung der Luft dem Grillrauch direkt ausgesetzt. Viele der Gaststätten betreiben keine Abgasreinigungsanlagen, nicht jede Anlage arbeitet sauber.

Fürs Fraunhofer IBP nimmt sich Dr.-Ing. Mohammad Aleya der Sache an. Jahrelanges Know-how in der Entwicklung und Erforschung von Verbrennungstechnologien und Abgasreinigungsanlagen hat ihn mit seinem Team zu Fachleuten gemacht. Die Testergebnisse, wie sauber die handelsüblichen Anlagen arbeiten, werden Mitte 2021 vorliegen.

»Wir ermitteln, wie effektiv die herkömmlichen, auf dem Markt verfügbaren Abgasreinigungssysteme tatsächlich für den Einsatz in Gastronomiebetrieben sind und ob damit eine gute Luftqualität im Umfeld und besonders in Wohngebieten sichergestellt werden kann«, sagt Aleya. Für die Untersuchungen hat der Forscher im Labor des Fraunhofer IBP einen gewerblichen Grill mit einer meterhohen fünfstufigen Abgasreinigungsanlage aufgebaut. »Eine solche Anlage steht in unterschiedlichen technischen Konstellationen in vielen Gastronomiebetrieben.«

»Bedenkliche Werte«

Große Mengen an fettreichem Fleisch landeten für die Experimente auf dem Grill. Neben Stickoxiden und Kohlenstoffmonoxid konnte Aleya Feinstaub und benzolhaltige sowie polyzyklisch-aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) messen. Viele sind nachweislich gesundheitsschädlich. Sie entstehen hauptsächlich durch eine unvollständige Verbrennung von Fetten und ölhaltigen Marinaden. »Je fettreicher die Spieße





waren, desto höher fielen die Emissionen aus«, erzählt Aleyssa. Die Abgase werden vor allem von Fett-Schwelbränden ausgelöst.

Natürlich trägt der verwendete Brennstoff aufgrund einer unkontrollierten Verbrennung bei der Vorbereitung des für das Grillen notwendigen Glutbetts entsprechend zur Bildung von etlichen Schadstoffen bei. Die jährlich zu erwartende Schadstoffmenge: Auf einer aktiven Grillfläche von 0,5 Quadratmetern entweichen 400 bis 500 Kilogramm Fein- und Feinstpartikeln, die ermittelte Menge an Kohlenwasserstoff war mit 1,5 Tonnen dreimal so hoch. »Das sind bedenkliche Werte«, hat der Ingenieur ermittelt. »Sie liegen bei der Berücksichtigung der längeren Betriebszeit von Holzkohlegrillen um das Dreihundertfache über dem eines normalen Holzkamins.«

Software-Simulationen sollen zeigen, ob sich durch eine Erhöhung des Schornsteins die Schadstoffe in der Umgebungsluft besser verteilen lassen und die Geruchsbildung so eliminiert werden kann. »Wir vermuten, dass sich das

Problem dadurch nur verschiebt und nicht der nächste, sondern der übernächste Nachbar durch den Grillrauch belästigt wird«, sagt der Forscher.

Bessere Luft bei günstigeren Kosten dank Fraunhofer-Technik


»Unsere bisherigen Forschungen haben ergeben, dass Gastronomiebetriebe technisch nicht ausgereifte Grilltechniken ohne adäquates Verbrennungskonzept verwenden«, so Aleyssa. Daher arbeiten die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IBP an einer eigenen, bereits patentierten Lösung, die sie mit innovativer Grilltechnologie kombinieren. Sie soll die Abgasmenge auf ein Zehntel reduzieren. Das System behandelt das Fett, bevor unangenehme Gerüche entstehen. Im Gegensatz zu verfügbaren Anlagen, die je nach Größe und technischer Kombination bis zu 70 000 Euro kosten, lässt sich die Fraunhofer-Entwicklung kostengünstiger betreiben. Das System liegt als Prototyp vor, Ende 2021 soll es fertiggestellt sein. ■

Die Lösung?
Patentiert und
als Prototyp
ausgearbeitet
– von 2021 an
soll sie die
Abgasmenge auf
ein Zehntel
reduzieren.



Auf einem halben Quadratmeter Grillfläche entweichen bis zu 500 Kilo Fein- und Feinstpartikel – pro Jahr.
© David De Stefano / offset

ULi macht die Meere sicherer

 Um Minen, Bomben oder Torpedos auf dem Meeresboden gezielt aufzuspüren, ist es entscheidend, ihre typische Form zuverlässig zu erkennen – kein Problem für die innovative Technologie, die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM gemeinsam mit Partnern aus den Niederlanden und Dänemark entwickelt haben.

Herkömmliche Messmethoden stoßen bei trübem Wasser an ihre Grenzen. Daher verfolgen die Partner im Forschungsprojekt LUXOR einen alternativen Ansatz auf Basis von LiDAR-Technologie und automatisierter Objekterkennung mittels Künstlicher Intelligenz. Die Fraunhofer-Forscher ergänzten ihr Unterwasser-LiDAR-System ULi um einen Videomodus, der auch eine flächenhafte Erfassung der Umgebung mit dem Laserscanner

ermöglicht. Als Ergebnis liefert ULi 3D-Videodaten sogar im trübem Wasser und in Echtzeit. Jetzt wollen die Forscher die Technologie in einen automatisierten Prozess überführen, der die Analyse und digitale Bereitstellung von Mess- und Kartierungsdaten der gefundenen Kampfmittel in einer Datencloud umfasst – und die Bergung damit sicherer und deutlich kostengünstiger macht.

Für ULi gibt es viel zu tun: Auf dem Grund von Nord- und Ostsee liegen große Mengen Weltkriegsmunition, allein in deutschen Gewässern sind es 1,6 Millionen Tonnen. Ihre fortschreitende Korrosion setzt nicht nur chemische Stoffe frei, es besteht auch Explosionsgefahr. Das führt beim Bau von Windparks, der Verlegung von Unterseekabeln oder Pipelines zu großen Problemen.

Saubere Sache: Bremsbeläge ohne Kupfer




Der Kupferabrieb von Hochleistungsbremsen gelangt über die Kanalisation in Gewässer und gilt als hochgiftig. Fraunhofer-Forscher haben zusammen mit dänischen Partnern eine umweltfreundliche Alternative entwickelt.

Bremsen mit Sinter-Belägen für Schienenfahrzeuge, Windkraftanlagen, schwere Baufahrzeuge, höherwertige Motorräder und Mountainbikes haben in der Regel einen Kupferanteil von bis zu 50 Pro-

Niederlande

Fraunhofer weltweit

Malaria frühzeitig erkennen und Leben retten

 Die mikroskopische Blutuntersuchung ist die tragende Säule der Malaria-Diagnose, aber zeitaufwendig und kostenintensiv. Die Gesundheitsversorgung in den betroffenen Regionen ist oft mangelhaft, geschultes Personal rar. Genau hierfür bietet das »µSmartScope« des portugiesischen Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions (AICOS) jetzt eine Lösung.

Ein multidisziplinäres Team unter der Leitung von Luís Rosado entwickelte ein mobiles, vollautomatisches, 3D-gedrucktes Mikro-

skop, das von einem Smartphone angetrieben und gesteuert wird. In einen Adapter werden Blutausstrich und Smartphone eingesetzt und mit der eingebauten Kamera vergrößerte Aufnahmen gemacht. Diese Bilder können mithilfe künstlicher Intelligenz aufgearbeitet, analysiert und eine Vordiagnose erstellt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, Experten, die nicht vor Ort sind, für eine Ferndiagnose oder Zweitmeinung einzubeziehen. Im Welt-Malaria-Report 2019 verzeichnet die WHO die Zahl der Neuerkrankungen mit 228 Millionen, die der Todesfälle mit 405 000,

davon überwiegend Kinder unter fünf Jahren. Nur etwa jede fünfte Neuerkrankung wird frühzeitig entdeckt. Dabei kann eine rechtzeitige Diagnose nicht nur einen schweren Verlauf verhindern, sondern auch das Risiko einer Verbreitung verringern.

Der Prototyp »µSmartScope« wurde erfolgreich auch bei anderen Erkrankungen wie Gebärmutterhalskrebs oder Leukämie getestet und kann zu einer schnellen, genauen und kostengünstigen Unterstützung für medizinisch unterversorgte Regionen werden.

Portugal

zent. Sie sind den Bremsen mit organisch gebundenen Belägen in Pkw oder Lkw in Temperaturbeständigkeit, Bremsleistung, Verschleiß und Abrieb weit überlegen. Aus Naturschutzgründen dürfen sie aber ab 2021 in den US-Bundesstaaten Washington und Kalifornien nicht mehr vertrieben werden, bis 2025 müssen alle Bremsbeläge dort nahezu kupferfrei sein. »Es ist zu erwarten, dass diese Regularien auch auf andere Staaten ausgeweitet werden«, erklärt Gunnar Walther, Abteilungsleiter Sinter- und Verbundwerkstoffe am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden.

Gemeinsam mit dem Danish Technological Institute und Partnern aus der Industrie entwickelten Walther und seine Kollegen in dem Projekt »Green Pad« einen eisenbasierten Sinter-Bremsbelag, zunächst für Motorräder. Er kommt dem spezifischen Reibverhalten der kupfer- oder nickelhaltigen Beläge sehr nahe und könnte die Kupfer-Emission um 600 Tonnen im Jahr reduzieren – das entspricht etwa einem Viertel des Kupfer-Bremsverschleißes in Europa. »Generell ist eine Ausweitung auf viele weitere Anwendungen möglich«, betont Walther.

Dem Wirkstoff auf der Spur



Wissenschaftler auf der ganzen Welt arbeiten an Medikamenten gegen das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2. Die größte Hürde dabei ist das sogenannte »Tal des Todes« zwischen der Entdeckung neuer Substanzen und der Weiterentwicklung zu anwendbaren Arzneimitteln. Diese Lücke in der Medikamentenentwicklung schließt das Forschungskonsortium iCAIR®.

Das Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM entwickelt darin gemeinsam mit dem Institute for Glycomics (IfG) der australischen Griffith University, der Medizinischen Hochschule Hannover und dem Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) neue Wirkstoffe gegen Atemwegsinfektionen. Jetzt hat iCAIR® sein Spektrum um die Suche nach einem wirksamen Medikament gegen das Coronavirus erweitert.

Dafür durchforsten die Forschenden Substanzbibliotheken des IfG, HZI und Fraunhofer IME nach Stoffen, die die Vermehrung von SARS-CoV-2 in Zellen hemmen. Der Fokus liegt dabei auf Wirkstoffen, die sich aktuell in der Prüfung befinden oder die bereits zugelassen sind. Die ausgewählten Substanzen werden chemisch optimiert, die Wirksamkeit und Verträglichkeit an menschlichen Lungenschnitten getestet. Dafür verwenden die ITEM-Forscher ein eigens entwickeltes Infektionsmodell mit lebensfähigem Lungengewebe, das eine detaillierte Analyse der biologischen und immunologischen Reaktionen auf das Virus in der tiefen Lunge ermöglicht – dort, wo das Coronavirus den größten Schaden anrichtet.

Dänemark



Australien

Ein Vorteil beim Einsatz von VR-Technologien im Studium:
Das Vorstellungsvermögen der angehenden Ingenieure
wird gestärkt. © Fraunhofer IAO, Ludmilla Parsyak

Lernen in neuen Dimensionen

Dank technischer Fortschritte, sinkender Kosten und Corona-Dringlichkeit sind die Chancen für Digitaltechnik in der Bildung so gut wie nie. Für Ingenieursstudierende der Universität Stuttgart wird ab dem Sommersemester 2021 Virtuelle Realität zum festen Bestandteil des Lehrplans.

Text: Marina Babl



Jeder lernt für sich allein. Das ist eine der neuen Erfahrungen, die Schülerinnen, Schüler und Studierende in Corona-Zeiten machen. Dringend gesucht sind daher neue Lerntreffpunkte, die Bildung und Wissensaustausch wieder zu einem Gemeinschaftserlebnis werden lassen – gerade durch den Einsatz von Virtual-Reality-(VR-)Technologien.

Mit einem geschätzten Absatz von rund zehn Millionen Stück im Jahr 2019 stellen VR-Geräte derzeit zwar noch eher Nischenprodukte dar – Smartphones wurden im gleichen Zeitraum ungefähr 150-mal so viele verkauft –, doch die Nachfrage steigt sichtlich. Allein im vergangenen Jahr gab es eine Zunahme von rund 20 Prozent.

Mit 1,8 Millionen Euro fördert das Wissenschaftsministerium fünf Projekte zur anwendungsorientierten Erforschung von Lern- und Lehrkonzepten mit Virtual und Augmented Reality an Hochschulen. Eines davon ist »Virtual Reality in der universitären Ausbildung im Ingenieurwesen« oder kurz ViRAI, ein Projekt des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart in enger Kooperation mit dem Ludwig-Uhland-Institut für Empirische Kulturwissenschaft der Universität Tübingen und dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

Der Einsatz von VR ist hier weder eine reine Notlösung noch eine simple Spielerei: »Unser Ziel ist es, unsere Studierenden mithilfe von VR zu besseren Konstrukteuren, besseren Produktentwicklern und somit besseren Ingenieuren zu machen«, betont Projektkoordinator Dr. Manfred Dangelmaier.

Die Weiterentwicklung von digitalen Bildungsangeboten war ihm und seinem Team schon vor Corona ein Anliegen. Nicht zuletzt auch deshalb, weil sie stets aufs Neue beobachten, dass die Ingenieure von morgen mit dem räumlichen Vorstellungsvermögen und dem korrekten Einsatz von CAD-Software zur dreidimensionalen Entwicklung von Produkten, wie beispielsweise Maschinengetrieben, Probleme haben. Der Einsatz von VR im Studium kann dabei in mehrfacher Hinsicht eine Hilfestellung bieten: »Zum einen sollen die Studierenden natürlich Virtuelle Realität als Werkzeug kennenlernen, in der Annahme, dass es in Zukunft stärker verfügbar sein wird, auch in den Unternehmen. Auf der anderen Seite sollen sie durch die Erfahrung, die sie in VR machen, dazu angeregt werden, ihre bisherigen Werkzeuge, also die 3D-CAD-Systeme, besser und effizienter zu nutzen«, erklärt Dangelmaier.

Konkret zum Einsatz kommen soll die neue Technologie voraussichtlich ab dem Sommersemester 2021 in den Veranstaltungen »Grundzüge der Produktentwicklung« und »Virtuelles Engineering« für Bachelor- und Master-Studierende. Derzeit

findet eine Analyse des Ist-Zustandes und eine Erfassung der Anforderung vonseiten der Lehrenden und Studierenden statt. Unterstützt werden die Stuttgarter dabei von den Kulturwissenschaftlern der Universität Tübingen, die das Projekt extern begleiten und die kulturellen Veränderungen innerhalb der digitalen Lehre untersuchen wollen.

Die größte Herausforderung für die kommenden Monate werde es aber sein, die Studierenden optimal mit dem benötigten Equipment auszustatten, so Dangelmaier. »Da fehlen noch komplett die Erfahrungen.« Denn auch wenn man für VR-Technologien heute nur noch einen Bruchteil von dem zahlt, was man vor zwanzig Jahren gezahlt hat, liegen die Kosten für einen hochwertigen Grafikkrechner und ein Head-Mounted Display, ein auf dem Kopf zu tragendes, visuelles Ausgabegerät, noch immer im niedrigen vierstelligen Eurobereich. Man könne daher auf keinen Fall von den Studierenden erwarten, sich die Geräte privat anzuschaffen, betont Dangelmaier. Stattdessen werde die Universität die Technologien in einer möglichst großen Bandbreite zur Verfügung stellen – allerdings nicht für die Großvorlesungen selbst, sondern für die dazugehörigen Übungen vor Ort.

Hier herrschen die optimalen Lernbedingungen für die Studierenden, um sich mit den VR-Geräten vertraut zu machen, da die Übungen generell sehr interaktiv ablaufen. Die Studierenden arbeiten in Gruppen weitestgehend selbstständig an eigenen Projekten. »Und VR ist da einfach nur ein weiteres Werkzeug, das sie an die Hand bekommen, um zusammen ihre Aufgaben zu lösen«, erklärt Dangelmaier. Dabei verändert sich auch die Rolle der Lehrperson. Sie ist im Kontext der digitalen Bildung nicht mehr rein für die Wissensvermittlung zuständig, sondern nimmt verstärkt eine Berater- und Coachfunktion ein.

Manfred Dangelmaier geht davon aus, dass es in den nächsten Jahren auch im Schulkontext vermehrt zum Einsatz von VR kommen wird – vorausgesetzt, die Kosten sinken noch weiter. So wären plötzlich beispielsweise Schulausflugsziele in das antike Griechenland oder in das Innere des Körpers zum Greifen nahe. Der resultierende Lernerfolg wäre hoch: Zahlreiche Studienergebnisse sprechen dafür, dass der Einsatz von VR im Bildungskontext die Leistung und Motivation der Lernenden steigert sowie deren soziale, motorische und kognitive Fertigkeiten verbessert.

So freuen sich die Ingenieursstudierenden der Universität Stuttgart schon auf die Veränderungen in ihrem Lehrplan, und auch Manfred Dangelmaier zeigt sich optimistisch: »Mit ViRAI tragen wir dazu bei, dass VR für die Studierenden zu einem selbstverständlichen Arbeitsmittel eines Ingenieurs wird.« Sobald das Projekt gut angelaufen ist, könne er sich auch eine Ausweitung des Konzepts auf andere Vorlesungen und Lehrbereiche gut vorstellen. ■

»Unser Ziel ist es, unsere Studierenden mithilfe von VR zu besseren Konstrukteuren, besseren Produktentwicklern und somit zu besseren Ingenieuren zu machen.«

Dr. Manfred Dangelmaier, Projektleiter

Moderne Piraten

Der deutsche Maschinenbau ist so stark von Produktpiraterie betroffen wie noch nie. Der Schaden beträgt 7,6 Milliarden Euro jährlich, 300 Millionen mehr als noch vor zwei Jahren. Trotzdem wehren sich nur wenige gegen den dreisten Ideenklau.

Text: Dr. Sonja Endres



Ähnlich, aber nicht gleich: Mehr als die Hälfte aller Plagiate gefährden die Anlage, ein Drittel auch deren Bediener.
© picture alliance/Jürgen Lösel

Der Kampf gegen Produktpiraten ist mühsam. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen schrecken vor Maßnahmen gegen Plagiatoren zurück. Das zeigt die Studie »Produktpiraterie 2020«, die der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebau VDMA seit 2003 alle zwei Jahre erstellt, seit 2018 gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC. Das Institut bietet unter anderem systematische Risikoanalysen an und entwickelt individuelle Schutzkonzepte.

Nur ein Drittel der Maschinenbauer unter 250 Mitarbeitern werden gegen den unlauteren Nachbau aktiv, obwohl auch sie zunehmend unter Produktpiraterie leiden. 55 Prozent wurden 2016 das Opfer von Fälschern, heute sind es 64. »Mit wachsender Umsatzgröße steigt auch der Anreiz für Produktpiraten, an diesem Erfolg teilzuhaben«, weiß Studienleiter Ferdinand Jarisch vom Fraunhofer AISEC. Von den Großunternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern sind 90 Prozent betroffen. Allerdings müssen die Plagiatoren hier mit mehr Gegenwehr rechnen: Jedes zweite Großunternehmen belässt es nicht bei mahnenden Briefen oder Anwaltsschreiben, sondern geht vor Gericht – bei den kleinen und mittleren Unternehmen ist es nur jedes zehnte. Die Kosten und die Dauer von zivilrechtlichen Verfahren schrecken ab, ebenso die unsicheren Erfolgsaussichten in fremden Rechtsräumen. »Hier sollte man sich von Spezialisten beraten lassen, die die juristischen Rahmenbedingungen kennen und vor Ort Fachleute haben. Für China ist das beispielsweise die Chinabrand GmbH«, empfiehlt Steffen Zimmermann, Leiter Industrial Security im VDMA. Die Studie zeigt: China ist nach wie vor das Land, in dem mit 61 Prozent weltweit die meisten Plagiate vertrieben werden. Deutschland folgt mit großem Abstand und 19 Prozent auf Platz zwei. Platz drei belegt Russland mit 12 Prozent. China ist auch bei der Herstellung von Plagiaten mit 82 Prozent führend, wie die vorangegangene Studie von 2018 ermittelte.

Nicht resignieren, sondern handeln

Auch wenn geschädigte Firmen vom Rechtsweg absehen: Davonkommen lassen sollten sie Ideendiebe nicht. »Das ist wie mit einem Kind, das nicht gemaßregelt wird. Wenn ich nichts tue, wird es immer schlimmer. Ein Plagiator sucht sich immer den geringsten Widerstand«, ist Zimmermann überzeugt. Häufig, so zeige seine Erfahrung, helfe schon ein mahnendes Schreiben, in dem Konsequenzen angedroht werden. »In der Anonymität lässt es sich leichter fälschen als in dem Wissen, aufgefliegen zu sein und unter Beobachtung zu stehen.« In den meisten Fällen stecken Wettbewerber hinter den Plagiaten (72 Prozent), aber auch Kunden, Zulieferer oder Ersatzteilverkäufer kupfern ab. Der Umsatzausfall, der dadurch entsteht, ist nicht der einzige Schaden für die betroffenen Firmen. Der Imageverlust, den qualitativ minderwertige Nachbauten verursachen, ist ebenfalls erheblich.

Am besten ist, es gar nicht erst so weit kommen zu lassen. »Je früher uns die Unternehmen einbinden, desto mehr können wir tun. Sinnvoll ist, uns schon in der Konzeptionsphase neuer Anlagen hinzuzuziehen«, appelliert Bartol Filipovic, Leiter der Abteilung Product Protection and Industrial Security am Fraunhofer AISEC. Idealerweise könne man dann den Schutz auch noch mit Mehrwerten für den Kunden verbinden. »Ein Chip in mechanischen Komponenten wie Tastarmen könnte beispielsweise das Bauteil als Original erkennen und gleichzeitig bei der korrekten Justierung helfen«, erklärt Filipovic.

In nur 36 Prozent aller Fälle werden ganze Maschinen nachgebaut, in 64 Prozent konzentrieren sich die Plagiatoren auf einzelne Komponenten. »Wenn eine Maschine lange stillsteht, wird es teuer. Auf dem normalen Weg dauert die Lieferung von Ersatzteilen häufig vier bis sechs Wochen, daher ist die Verlockung, auf Fälschungen in Online-Shops zurückzugreifen, groß«, erklärt Zimmermann vom VDMA. Ideal ist es deshalb, Maschinen von Anfang an mit einem Eigenschutz zu versehen und sie in die Lage zu versetzen, Nachbauten als solche zu identifizieren. Wird die Maschine durch Ersatzteile minderer Qualität beschädigt, hat der Originalhersteller das Problem, nicht der Reparaturservice, der sie eingebaut hat. Der Hersteller muss den Nachweis erbringen, dass das ausgetauschte Bauteil kein Original ist.

Maschinen mit Eigenschutz ausrüsten

Dem Eigenschutz dient auch die Verschlüsselung der Betriebssoftware der Maschine, der sogenannten Firmware. »Die Wertschöpfung wird zunehmend über die Software der Maschine erfolgen. Digitale Schutzmaßnahmen sind die Zukunft«, ist Zimmermann überzeugt.

Genau darauf sind Filipovic und seine Kollegen am Fraunhofer AISEC spezialisiert. Am sichersten ist es, den Schutz der Software mit der Hardware zu kombinieren. »Die Firmware kann beispielsweise Authentifizierungsabfragen von Sicherheitsfeatures in der Hardware vornehmen. Dabei setzen wir Mechanismen aus der Kryptografie ein. Die kennen wir sehr gut und wissen, wie man sie auf verschiedenen Hardware-Plattformen umsetzt. Entwicklern bieten wir Werkzeuge an, mit denen sie ihre Firmware absichern können. Nicht alle Verfahren sind überall gleich gut anwendbar, aber bei Verschlüsselung, manipulationsresistenter Programmierung und der Verschleierung kritischer Funktionen haben wir viel Know-how«, betont Filipovic.

Bei der Planung des Sicherheitskonzepts identifizieren Filipovic und sein Team Einfallswegen für Angreifer. »Gemeinsam mit dem Kunden machen wir eine Priorisierung und überlegen: Wo tut es am meisten weh? Diese Sicherheitslücken schließen wir. Einen hundertprozentigen Schutz gibt es nicht, das wäre zu aufwendig und zu teuer. Aber man kann es den Plagiatoren extrem schwermachen.« ■

»Ein Plagiator sucht sich immer den geringsten Widerstand.«

Steffen Zimmermann,
Leiter Industrial
Security VDMA

Cape Canaveral in Florida, 30. Mai um 15.22 Uhr Ortszeit: Erstmals seit neun Jahren starten Raumfahrer aus den USA, zum ersten Mal befördert mit Elon Musks SpaceX ein Privatunternehmen Astronauten zur Internationalen Raumstation ISS. © Brian Linn/SPACE X



Wo schon eine Schraube zur Handgranate wird

Verkehrschao auf den Umlaufbahnen: Wie lassen sich Satelliten vor dem Zusammenstoß mit Weltraumschrott schützen? Antworten gibt das Fraunhofer FHR.

Text: Dr. Janine van Ackeren

Die Welt hat staunend zugesehen, als Tesla-Unternehmer Elon Musk am 30. Mai eine bemannte Rakete zur Raumstation ISS schickte. Ein großer Schritt für seine Firma SpaceX, mit kleinen Hinterlassenschaften im Weltall. Wie bei jedem Raketenstart bleibt Weltraumschrott zurück. Aktuell fliegen etwa 750 000 menschengeschaffene Objekte größer als ein Zentimeter durch den Raum, die für Satelliten und Weltraumstationen gefährlich werden können. Im erdnahen Orbit kann bereits eine schlichte Schraube die Zerstörungswucht einer Handgranate entwickeln. In den niedrigen Erdumlaufbahnen, in denen die Satelliten ihre Kreise ziehen, können sie mit einer Relativgeschwindigkeit von bis zu 28 000 Kilometern pro Stunde aufeinanderprallen. ▶

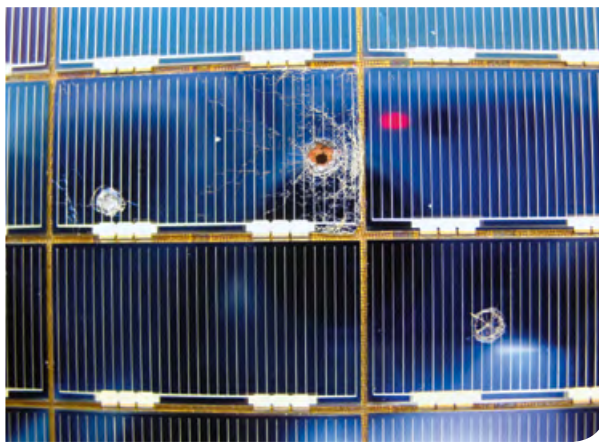


Gefährliche Altlasten: Etwa 6500 Tonnen Schrott rasen um die Erde – vom verlorenen Schraubenzieher bis zur ausgebrannten Raketenstufe. © NASA

»Wir können die Entfernung jetzt hundert Mal genauer bestimmen.«

Dr. Jens Klare,
Fraunhofer FHR

► **30 000 Objekte** werden vom Space Surveillance Network SSN der USA kontinuierlich überwacht und ihre Bahnen fortlaufend aktualisiert. Bleiben die kreisenden Objekte stets im Blick, lassen sich bei drohender Gefahr rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten. Satelliten können Ausweichmanöver fliegen, um eine Kollision zu verhindern. Allerdings verbraucht dies viel Treibstoff – muss der Satellit oft ausweichen, verkürzt das daher seine Lebensdauer und ist mit hohen Kosten verbunden. Sprich: Die Flugbahnen müssen möglichst genau bestimmt werden, um die Zahl unnötiger Ausweich-



Beschädigungen am Weltraumteleskop Hubble, 1990 ins All geschossen. © ESA

Den Weltraum im Blick – mit TIRA und GESTRA

Sollen Satelliten und Weltraumschrott im Orbit aufgespürt und abgebildet werden, braucht man dazu zwei verschiedene Radarsysteme: Eines, das einen großen Raumausschnitt überwacht und alles entdeckt, was sich hindurchbewegt. Und ein zweites, das einzelne dabei gefundene, interessante Weltraumobjekte präzise verfolgt und abbildet. Letzteres kann das europaweit einmalige Weltraumbeobachtungssystem TIRA am Fraunhofer FHR leisten.

Um hingegen einen großen Raumausschnitt zu beobachten, ist ein spezielles Radar mit hoher Reichweite und Strahlagilität nötig, das es jedoch bislang auf deutscher Seite nicht gab. Das Bundeswirtschaftsministerium beauftragte daher das Fraunhofer FHR, ein solches Phased-Array-Radar aufzubauen. Das Einzigartige an GESTRA: Es ist mobil, kann also an beliebigen Orten aufgestellt werden. Per Schwertransport wurde es am 30. Juni vom Gelände des Fraunhofer FHR in Wachtberg bei Bonn nach Koblenz gebracht, wo es an das Weltraumlagezentrum der Bundeswehr im niederrheinischen Uedem angebunden und von dort aus ferngesteuert wird.

manöver gering zu halten. Nur präzise Daten helfen, die entscheidende Frage zuverlässig zu beantworten: Würde der Satellit auf seiner momentanen Umlaufbahn gegen das Geschoss prallen, oder passt es haarscharf?

Das Weltraumbeobachtungssystem TIRA, kurz für »Tracking and Imaging Radar«, des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR liefert diese Antworten. Das System ist einzigartig in Europa – in tausend Kilometern Entfernung kann es sogar noch Objekte entdecken, die lediglich zwei Zentimeter groß sind. »TIRA kombiniert ein Zielverfolgungsradar und ein Abbildungsradar mit einer hochagilen, 34 Meter großen Parabolantenne«, sagt Dr. Jens Klare, Geschäftsfeldsprecher Sicherheit am Fraunhofer FHR. Anders gesagt: Das riesige Radar kann Satelliten und Weltraumschrott nicht nur verfolgen, sondern auch Abbildungen davon machen.

Nun hat das Forscherteam die Genauigkeit sogar nochmals verbessert: Im EU-Projekt EUSST hat es eine neue Methode entwickelt, um die Bahnen solcher Objekte noch präziser vermessen zu können. »Wir können die Entfernung jetzt rund hundertmal genauer bestimmen als vorher«, bestätigt Klare. Die Wissenschaftler fusionieren die Daten der beiden Radare von TIRA durch hochkomplexe mathematische Methoden. Bislang wurde ausschließlich das Zielverfolgungsradar für die Bahnbestimmung von Weltraumobjekten verwendet. Eine Messkampagne mit dem Weltraumlagezentrum konnte bereits zeigen, dass der Ansatz funktioniert – dafür wurden spezielle Referenzsatelliten mit TIRA beobachtet. Vergleichsmessungen per Laserstrahl lieferten die genaue Position des Satelliten und somit Vergleichsdaten: Der Laserstrahl wurde an Reflektoren, die an den Referenzsatelliten befestigt sind, zurückgestrahlt – über seine Laufzeit lässt sich die Position präzise bestimmen. Für eine generelle Vermessung eignen sich diese Lasermessungen jedoch nicht, denn sie funktionieren nur bei wolkenfreiem Himmel. Außerdem müssen Weltraumobjekte für diese sehr genauen Lasermessungen mit entsprechenden Reflektoren ausgestattet sein. Hier zeigt sich der entscheidende Vorteil von Radar. Bis Ende 2021 wollen die Forscher die mathematischen Methoden noch verfeinern. Dann soll der neue Modus auch routinemäßig zur Verfügung stehen.

Gezielte Rückführung von Weltraumschrott

Besonders problematischer Weltraumschrott sind umherschwirrende Raketentufen: Denn sie haben vielfach noch einen Rest Treibstoff im Tank, was immer wieder Explosionen nach sich zieht. Dies löst einen Kaskadeneffekt aus: Statt eines größeren Teils schwebt nun eine Vielzahl an kleineren Fragmenten durch den erdnahen Weltraum – die Wahrscheinlichkeit, dass ein Satellit von einem solchen Objekt



Wo es Raketen regnet: abgestürzter Weltraumschrott in der Taiga beim Kosmodrom Plessezsk, dem Weltraumbahnhof 800 Kilometer nördlich von Moskau.
© Raffaele Petralla

getroffen und beschädigt oder gar zerstört wird, steigt. Weltraumbehörden starten daher erste Versuche, Weltraumschrott zurückzuholen. So plant z.B. die ESA eine Testmission für 2025, bei der ein Adapter für die Kopplung von Raketenoberstufe und Nutzlast eingefangen werden soll. Sowohl im Vorfeld als auch während einer solchen Mission selbst gilt es, möglichst viele Informationen über das Objekt einzuholen: Wie schnell dreht es sich? In welche Richtung rotiert es? Wie ist es im Raum ausgerichtet? In welchem Zustand ist es?

Das Fraunhofer FHR kann mit dem Weltraumbeobachtungsradar TIRA die nötigen Daten für solche Missionen liefern und sowohl die Planung als auch die Durchführung unterstützen. Bereits heute erbringt es Unterstützungsleistungen mit TIRA: national für das Weltraumlagezentrum in Uedem, international beispielsweise für die ESA. »2019 haben wir unter anderem die Schadensanalyse der Oberstufe einer japanischen Trägerrakete durchgeführt«, erzählt Nora Egli, Wissenschaftlerin am Fraunhofer FHR. Damit die dafür notwendige Abbildung möglichst präzise ist, muss die Rotationsgeschwindigkeit der Raketenstufe so genau wie möglich bekannt sein. Es gilt also genau zu bestimmen, wie schnell sie sich in welche Richtungen dreht. Da sie sich um mehrere Achsen gleichzeitig

drehen kann, kann die Bewegung sehr komplex sein. TIRA beobachtet das Objekt während einer Passage typischerweise acht bis zwölf Minuten aus verschiedenen Blickwinkeln.

Über selbst entwickelte Algorithmen analysieren die Forscherinnen und Forscher eine Sequenz von Radarabbildungen und schätzen daraus die Rotationsgeschwindigkeit ab. Mithilfe der Radarabbildungen erstellen sie ein digitales 3D-Modell des Objekts, hier also der Raketen-Oberstufe. Dieses 3D-Modell passen sie dann über eine längere Sequenz von Radarabbildungen an, um aus der Bewegungsabfolge die Rotationsrate zu schätzen. Stimmen die Bewegungen des 3D-Modells und der Radarabbildungen über die gesamte Passage überein, sind die Geschwindigkeiten richtig geschätzt, falls nicht, muss in einem iterativen Prozess entsprechend nachjustiert werden. »Auf diese Weise können wir beispielsweise Zustandsanalysen und Rotationsanalysen der Objekte machen, die für die Rückführung von Weltraumschrott wichtig sind – und etwa die Frage beantworten, welche Methode sich für das Einholen eignet: ein Netz oder besser ein Greifarm«, erläutert Egli. So tragen die Fraunhofer-Forscher dazu bei, den erdnahen Orbit für Satelliten Schritt für Schritt ein wenig sicherer zu machen. ■

»Wir können Zustandsanalysen und Rotationsanalysen der Objekte machen, die für die Rückführung von Weltraumschrott wichtig sind.«

Nora Egli,
Fraunhofer FHR

Handy-Desinfektion: Vorsicht vor Billiggeräten

Auf Smartphones vermehren sich Pilze, Bakterien und Viren. UVC-Licht tötet sie ab – viele Bestrahlungsgeräte halten jedoch nicht, was sie versprechen.

Text: Dr. Sonja Endres

Zur Händehygiene gehört auch das Handy«, mahnte die Techniker Krankenkasse angesichts steigender Corona-Infektionszahlen. Die Forderung ist allerdings schwer umzusetzen: Desinfektionsmittel zerstören den empfindlichen, ölabweisenden Schutzfilm der Displays. Dabei legen laut einer Umfrage der Telefónica Deutschland AG von 2019 nur 22 Prozent aller Befragten während ihrer Freizeit das Smartphone länger als 60 Minuten aus der Hand, bei den 18- bis 29-Jährigen waren es sieben Prozent.

Im Handel werden Desinfektionsgeräte angeboten, die mithilfe von UVC-Licht Keime abtöten. Allerdings wiegen sich ihre Besitzer meist in falscher Sicherheit.

»Oft ist die Leistung viel zu gering, um in einer vernünftigen Zeitspanne Smartphones desinfizieren zu können«, warnt Thomas Westerhoff, der am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Ilmenau die desinfizierende Wirkung von UVC-Licht erforscht. Häufig kommen weitere Mängel hinzu. Dazu gehört eine Auskleidung der Geräte mit Materialien, die nicht UV-reflektierend sind und daher viel Strahlung absorbieren. Oder die Verwendung zu kleiner, leistungsschwacher Quecksilberdampflampen mit einer langen Aufheizphase statt LED. »Manche Geräte strahlen noch nicht mal UVC-Licht aus, sondern nur violettes oder UVA-Licht, das nahezu keine Wirkung hat«, hat Westerhoff festgestellt.

Ausnahmslos alle Geräte haben einen großen Makel: Sie messen die wirklich abgegebene Bestrahlungsdosis nicht. »Diese ist aber, neben

der Wellenlänge, der entscheidende Parameter für die Effizienz der Desinfektion. Nur durch eine Messung der Bestrahlungsdosis kann sichergestellt werden, dass die Strahlungsquelle die volle Leistung erbringt und diese auch auf dem Smartphone ankommt«, betont Westerhoff.

Abhilfe schafft ein innovatives UVC-Gerät, das Westerhoff und sein Team gemeinsam mit Ärztinnen und Ärzten des Universitätsklinikums Jena entwickelt haben. Es sieht aus wie eine Mikrowelle – die es aber in sich hat: Bestrahlte Smartphones sind innerhalb weniger Sekunden nicht nur überwiegend keimfrei, sondern nach Krankenhausstandard steril. Auch Tablets haben in dem Gerät Platz.

Die notwendige Bestrahlungsdosis ist je nach Erreger unterschiedlich. So sind bei den verbreiteten Escherichia-coli-Bakterien, die Durchfallerkrankungen hervorrufen können, bereits zwei bis sechs Millijoule pro Quadratzentimeter ausreichend, um sie zu 99,99 Prozent abzutöten – erst dann spricht der Fachmann von Desinfektion. Beim Coronavirus SARS-CoV-1 führt diese Dosis zu einer Inaktivierung von 90 Prozent der Erreger, für eine Desinfektion sind etwa 48 Millijoule nötig. Für das aktuelle SARS-CoV-2 liegen noch keine belastbaren Daten vor. Weil es auch innerhalb eines Erregertyps zu Schwankungen kommen kann, gilt bis dahin: Lieber etwas zu viel bestrahlen als zu wenig.

Die optimale Wellenlänge des UVC-Lichts beträgt 265 Nanometer. »Hier ist die Strahlungsenergie gleich der Bindungsenergie der Nukleinsäure Thymin. Die chemische Bindung des Thymins wird aufgespalten. Die Folge: Benachbarte Moleküle »verkleben« miteinander, die

DNA ist nicht mehr auslesbar und die Zelle kann sich nicht vermehren«, erklärt Westerhoff.

Das Desinfektionsgerät des Fraunhofer IOSB ist mit zwei UVC-LED-Bestrahlungsmodulen (oben und unten) mit entsprechender Wellenlänge ausgerüstet. In nur wenigen Sekunden erreichen sie eine Bestrahlungsdosis von 80 Millijoule pro Quadratzentimeter. Das Smartphone liegt dazwischen auf einer UVC-transparenten Quarzglasplatte, durch die das Licht direkt und ungehindert einstrahlen kann. Die Innenwände des Geräts sind hochreflektierend, das Strahlungsfeld homogen. »So ist gewährleistet, dass jeder Quadratmillimeter des Smartphones die gleiche Dosis abbekommt«, sagt Westerhoff. Der Desinfektionsvorgang wird durch Sensoren überwacht, die die Intensität der Bestrahlung messen, und erst beendet, wenn sichergestellt ist, dass die Mindestbestrahlungsdosis erreicht wurde. Da das UVC-Gerät für den Einsatz in der Klinik entwickelt wurde, wo Smartphones und Tablets vielseitig genutzt werden und von Hand zu Hand gehen, ist es zusätzlich mit einem NFC-Reader ausgerüstet. Er identifiziert das Smartphone, erfasst und protokolliert über einen Sensor die applizierte Dosis. So ist jeder Desinfektionsvorgang nachvollziehbar und individuell zuzuordnen – Sicherheit garantiert.

Ein Prototyp des neuen Geräts existiert bereits. Für die kommerzielle Verwertung sucht das Fraunhofer IOSB noch Partner aus der Wirtschaft. Die Forscher haben außerdem eine UVC-Desinfektionslösung für Rettungswagen entwickelt, mit der sich Keime auf Oberflächen und in der Luft auf Knopfdruck abtöten lassen. Die ersten entsprechend ausgerüsteten Rettungswagen sollen im Herbst auf den Markt kommen. ■

Selbst während des Fernsehens ist das Handy im Einsatz: Je jünger die Befragten, desto höher fällt die Second-Screen-Nutzung aus. Regelmäßig schauen 57 Prozent der 18- bis 29-Jährigen während des Fernsehens parallel auf das Smartphone.

57%

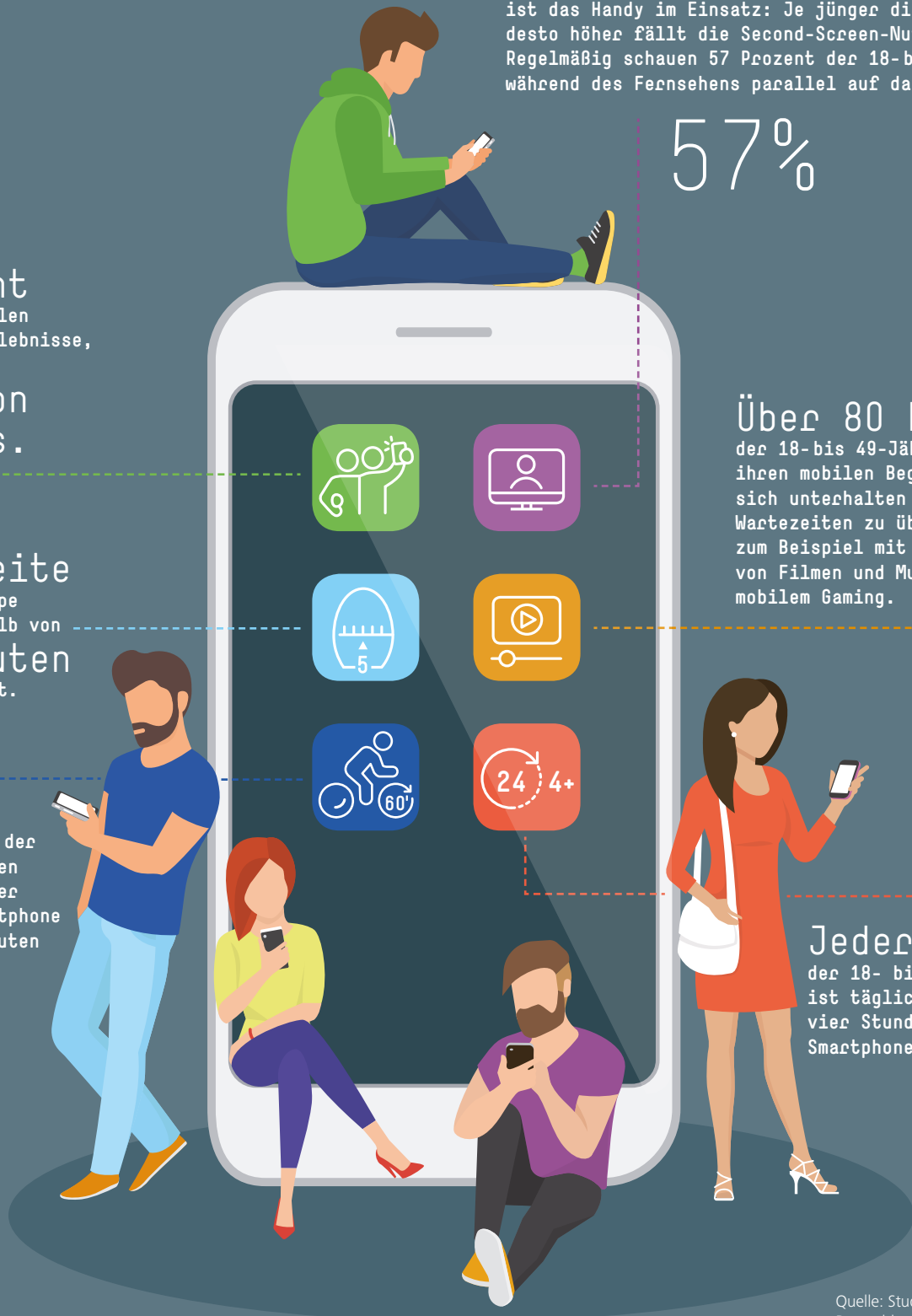
86 Prozent der Befragten teilen ihre digitalen Erlebnisse, Fotos oder Videos **direkt von unterwegs.**

Jeder Zweite dieser Altersgruppe antwortet innerhalb von **fünf Minuten** auf eine Nachricht.

Lediglich **7%** der 18- bis 29-Jährigen legen während ihrer Freizeit das Smartphone länger als 60 Minuten aus der Hand.

Über 80 Prozent der 18- bis 49-Jährigen nutzen ihren mobilen Begleiter, um sich unterhalten zu lassen und Wartezeiten zu überbrücken – zum Beispiel mit dem Streaming von Filmen und Musik oder mobilem Gaming.

Jeder Vierte der 18- bis 29-Jährigen ist täglich länger als vier Stunden mit seinem Smartphone online.



Sicher leben in der digitalisierten Stadt

Städte werden digitaler und damit anfälliger für Cyberattacken und Systemausfälle. Wissenschaftler entwickeln im Nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE Konzepte für mehr Sicherheit.

Text: Mehmet Toprak

Die Stadtverwaltung von Frankfurt am Main wurde im Dezember letzten Jahres von Schadsoftware lahmgelegt. An-, Ab- oder Ummeldung, Ausweis beantragen, Gewerbeauskünfte – nichts ging mehr. In kurzen Abständen folgten die Stadtverwaltungen von Bad Homburg, Potsdam, Alsfeld, Brandenburg an der Havel. Die Liste ist lang. »Es gibt großen Nachholbedarf bei IT-Sicherheit in Städten und Kommunen. Die Bedrohung wird in Zukunft noch wachsen«, warnt Dr. Michael Kreutzer vom Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt.

Er und sein Team arbeiten im Nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE an Sicherheitslösungen zum Wohl von Wirtschaft, Gesellschaft und Staat. ATHENE wurde Anfang 2019 als Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft gegründet. Damit wurden verschiedene Forschungs Kooperationen zur Cybersicherheit in Darmstadt in einem Zentrum zusammengeführt und verstetigt. Neben dem Fraunhofer SIT sind auch das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, die Technische Universität Darmstadt und die Hochschule Darmstadt an ATHENE

»Es gibt großen Nachholbedarf bei IT-Sicherheit in Städten und Kommunen.«

Dr. Michael Kreutzer,
Fraunhofer SIT

Lieferdrohnen, intelligente Verkehrssteuerung, Ausweis per Smartphone beantragen – zwei Drittel aller Bürgerinnen und Bürger fordern mehr Tempo bei der Digitalisierung ihrer Stadt, ermittelte 2019 eine Umfrage des Branchenverbandes Informationswirtschaft Bitkom. © istockphoto



beteiligt. Mit rund 500 Mitarbeitenden ist es das europaweit größte Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheitsforschung und ein wesentlicher Bestandteil der Cybersicherheitsstrategie des Bundes. Ein wichtiges Projekt, an dem die Wissenschaftler in ATHENE arbeiten, ist »Secure Urban Infrastructures (SecUrban)«. Dabei geht es neben der Abwehr von Hackerangriffen auch um die Stärkung der Widerstandsfähigkeit von digitalen Systemen gegenüber Störungen und Ausfällen. Im Zentrum steht die Vision einer Smart City, also ein in hohem Maße digitalisierter urbaner Raum, in dem bei Krisen schnell reagiert werden muss.

IT-Sicherheit ist Daseinsvorsorge

Je komplexer die digitalen Strukturen, desto verletzlicher sind sie. Hackerangriffe, Datenpannen, Unfälle, Terroranschläge, Naturkatastrophen oder ein simpler Stromausfall können eine Stadt ins Chaos stürzen. Betroffen sind alle Lebensbereiche – Verkehr, Strom-, Wasser- und Gesundheitsversorgung, Wirtschaft und Handel, Kultur oder das Zusammenleben im öffentlichen Raum.

»Manche Städte haben in der Vergangenheit den Fehler gemacht, auf Cyberattacken nur mit schnellen Einzelmaßnahmen zu reagieren. Auf Dauer entsteht so ein Flickenteppich. Wir setzen uns für ein ganzheitliches und

nachhaltiges Konzept ein, das präventive Maßnahmen, schnelles Erkennen und Reagieren auf Ausfälle und Hackerangriffe umfasst«, sagt Kreuzer.

Die Entscheider in modernen Smart Cities, wie etwa Oberbürgermeister, sind überzeugt davon, dass die Stärkung der Cybersicherheit heute ein wesentlicher Bestandteil der Daseinsvorsorge ist. Die ATHENE-Wissenschaftler werfen bei ihrer Sicherheitsanalyse einen kritischen Blick auf Governance und Verwaltung. Wie sind im Krisenfall Zuständigkeiten geregelt? Wer ist verantwortlich? Wer gibt Informationen über welchen Kanal an wen weiter? Wie lange dauert das? Wo gibt es Quellen für Missverständnisse? Nur, wenn diese Fragen geklärt sind, kann die Reaktion auf Pannen oder Cyberattacken schnell und reibungslos erfolgen.

Smart City: Ampeln, Sensoren, Stromzähler liefern Daten

Eine Möglichkeit, die Sicherheit zu erhöhen, besteht in der Sammlung und Auswertung von Daten, die in einer Smart City anfallen. »So kann man Krisen, Unfälle oder Attacken schnell erkennen und lokalisieren«, erklärt Florian Kirchbuchner, Leiter der Abteilung Smart Living & Biometric Technologies am Fraunhofer IGD.

In der digitalisierten Stadt gibt es immer mehr Geräte und Detektoren, die Daten generieren: Ampeln, Überwachungskameras oder in der Fläche verteilte Sensoren, die Werte wie Luft- und Wasserqualität messen. Immer mehr Stromzähler arbeiten digital, auch sie liefern Daten. So werden in jeder Sekunde Hunderttausende von Messwerten und Einzeldaten erzeugt. Sie reflektieren das Leben und Ereignisse in der Stadt. Typische Muster entstehen. Abweichungen von diesen Mustern könnten auf Probleme hinweisen. »Wenn beispielsweise in einer bestimmten Straße um drei Uhr morgens überall das Licht angeht, könnte das ein Hinweis darauf sein, dass irgendetwas passiert ist, zum Beispiel ein Unfall«, erklärt Kirchbuchner.

Die technische Realisierung der Sammlung und Auswertung der Daten ist in der Praxis allerdings noch ein großes Problem. Die vielen verschiedenen Geräte und Sensoren senden ihre Daten in völlig unterschiedlichen Formaten an Steuerpulte und Leitzentralen, die wiederum untereinander nicht kommunizieren können. »Wir forschen deshalb an einer technisch neutralen Plattform, die den Datenaustausch ermöglicht«, sagt Kirchbuchner. Auch Fragen des Datenschutzes müssen berücksichtigt werden. Florian Kirchbuchner betont: »Privatsphäre und Sicherheit müssen Hand in Hand gehen. Sicherheit auf Kosten der Privatsphäre ist garantiert nicht unser Ziel. Wir sprechen daher bei allen Vorhaben von Security und Privacy by Design.« ■

Je komplexer die digitalen Strukturen, desto verletzlicher sind sie.



Smarte Chips statt bitterer Pillen

Nervenaktivität kontinuierlich erfasst, um Abweichungen vom gesunden Gleichgewicht gegenzusteuern? Science-Fiction wird Realität.
© Adobe Stock



Bioelektronische Medizin gilt als innovative Therapie gegen chronische Krankheiten wie Arthritis, Lähmungen und Asthma. Die Hoffnungen sind groß.

Text: Christine Broll

»Hacker machen heute auch vor Medizintechnik nicht halt.«

Prof. Klaus-Peter Hoffmann,
Fraunhofer IBMT

Es klingt wie Science-Fiction. Winzige Implantate, positioniert an wichtigen Schaltstellen des Körpers, erfassen kontinuierlich die Nervenaktivität. Sie sind kabellos vernetzt und vergleichen ständig den Ist-Wert mit dem Soll-Wert. Stellen sie Abweichungen fest, senden sie sofort elektrische Impulse an Gewebe und Nervenfasern, um das gesunde Gleichgewicht wieder herzustellen. Dass diese Vision Wirklichkeit werden kann, zeigen die ersten spektakulären Erfolge der bioelektronischen Medizin. In den USA konnten Patienten mit rheumatoider Arthritis bereits durch die Stimulation des Vagusnervs therapiert werden.

Elektrozeptika heißen die smarten Implantate. Fraunhofer-Wissenschaftler leisten hier Pionierarbeit. Sie entwickeln nicht nur leistungsfähige Mikroimplantate, sondern auch biologisch abbaubare Elektronik und Nanoelektroden, die mit einzelnen Zellen Kontakt aufnehmen können. Einen gewaltigen Schritt zur Realisierung der Vision macht das Innovationscluster INTAKT, das vom Bundesforschungsministerium mit mehr als 13 Millionen Euro gefördert wird. Prof. Klaus-Peter Hoffmann, Leiter der Hauptabteilung Biomedizintechnik am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT koordiniert das Konsortium aus 17 Partnern. »Wir entwickeln ein Netzwerk interaktiver Implantate, die

im Körper komplexe Funktionen auslösen können«, erklärt Hoffmann. »Sie ermöglichen eine völlig neue Mensch-Technik-Interaktion.«

Wie das in der Praxis aussehen könnte, wird in drei Szenarien untersucht. Zur Unterdrückung des Tinnitus wird der Einsatz von Implantaten im Ohr erforscht. Im zweiten Szenario geht es um Patienten, die wegen eines Schlaganfalls oder einer Querschnittslähmung ihre Hände nicht mehr bewegen können. Implantate im Arm sollen die Muskeln so stimulieren, dass die Hände wieder bestimmte Greifbewegungen ausführen können. Die Steuerung wird über ein Eye-Tracking-System unterstützt. Im dritten Szenario testet das Forschungsteam, wie Implantate die Darmbewegung wieder normalisieren können. Hier gibt es viele verschiedene Indikationen, von chronischer Verstopfung bis hin zur Versorgung von Darmkrebspatienten.

Die Implantate werden so groß sein wie eine Zwei-Euro-Münze. Sie enthalten eine winzige Batterie, die von außen durch induktive Energieübertragung aufgeladen wird. Manche Probleme sind menschengemacht. »Hacker machen heute auch vor Medizintechnik nicht halt«, empört sich Klaus-Peter Hoffmann. Um die Sicherheit zu garantieren, ersetzt man die für Angriffe anfällige Funkübertragung durch eine optische Signalübermittlung.

Genauso wichtig ist Klaus-Peter Hoffmann die Selbstbestimmung des Kranken. »Der Patient soll über die externe Steuereinheit jederzeit Zugriff auf die Funktionsweise der Implantate haben«, betont Hoffmann. »Über den Ablauf der Therapie sollen Arzt und Patient gemeinsam entscheiden.«

Weniger als einen Millimeter stark sind die Implantate, die Dr. Vasiliki Giagka mit ihrer Attract-Forschungsgruppe am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin entwickelt. Sie verpackt die elektronischen Bauteile des Implantats nicht in starre Kapseln, sondern überzieht sie mit einer dünnen Schutzschicht, zum Beispiel aus Polymeren. So gelingen ihr die äußerst dünnen und flexiblen Elektrozetika.

»Autoimmunerkrankungen gehören zu den vielversprechendsten Indikationen für die bioelektronische Medizin«, erläutert die aus Griechenland stammende Elektronikerin. »Die Therapie erfolgt durch die Stimulierung des Vagusnervs.« Der Vagus gehört zum vegetativen Nervensystem und ist an der Regulation fast aller Organe beteiligt. In der Milz reguliert er die Produktion entzündungsfördernder Botenstoffe, die bei Autoimmunerkrankungen eine wichtige Rolle spielen.

Die erste erfolgreiche Therapie mit einer Vagus-Stimulation gelang Wissenschaftlern des Feinstein-Instituts in New York im Jahr 2016. Bei Patienten mit rheumatoider Arthritis stimulierten sie mit einem Implantat bestimmte Fasern des Vagus. Durch die Stimulation sank die Konzentration der entzündungsfördernden Botenstoffe und die Entzündungen an den Gelenken gingen zurück. Mit der Vagus-Stimulation könnten auch andere Autoimmunerkrankungen wie Asthma, Morbus Crohn oder Multiple Sklerose therapiert werden. Da der Vagus auch an der Kontrolle des Blutzuckers beteiligt ist, gehört Diabetes ebenfalls zu den Indikationen für die bioelektronische Medizin.

Vasiliki Giagka arbeitet intensiv daran, die Stimulation des Vagus so spezifisch wie möglich zu machen. »Statt elektrischer Signale nutzen wir Ultraschall, da wir damit einzelne Fasern in der Nervenbahn besser ansteuern können«, erklärt Giagka, die neben der Fraunhofer-Gruppe auch ein Forschungsteam an der Technischen Universität Delft leitet. Auch bei der Stromversorgung setzt sie auf Ultraschall. Damit lassen sich tiefer im Körper liegende Implantate besser aufladen als mit dem Induktionsverfahren.

Elektronik, die der Körper absorbieren kann

Implantierbare elektronische Bauteile, die nach getaner Arbeit vom Körper des Patienten resorbiert werden? Als das Projekt bioElektron 2016 startete, schien das gesteckte Ziel noch eine mutige Vision. Denn wie sollte es gelingen, dass

sich Mikrochips aus Silizium und Metall rückstandsfrei auflösen? Die Herausforderung beflügelte die Forschungsteams aus den beteiligten fünf Fraunhofer-Instituten. »Bei Implantaten, die nur eine kurze Zeit benötigt werden, könnten wir den Patienten die Operation zur Entfernung der Elektrode ersparen«, erklärt Projektkoordinator Dr. Michael Hoffmann vom Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden.

Profitieren würden zum Beispiel Patienten, denen bei einer Darmoperation kurzfristig Elektroden zur Unterstützung der Darmmotilität eingesetzt werden. Auch Elektroden, die bei der Epilepsie-Diagnostik auf der Hirnrinde platziert werden, könnten ein Anwendungsfall sein.

Um die Vision zu realisieren, musste die Elektronik völlig neu gedacht werden. Als Trägerfolie wurden zwei verschiedene Materialien genutzt. Zum einen Polymilchsäure, die beim Abbau in einzelne Lactat-Moleküle zerfällt. Zum anderen ORMOCER®, ein biologisch abbaubares Polymer aus dem Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC. Die Leiterbahnen bestehen aus biokompatiblen, metallischem Magnesium. Eine große Herausforderung war die Entwicklung der Transistoren. »Als organischen Halbleiter benutzen wir das Pigment Chinacridon, das in ähnlicher Form auch für Tattoos verwendet wird«, erklärt Michael Hoffmann. Die Isolationsschicht und Verkapselung bestehen aus ähnlichen ORMOCER®-Varianten wie die Trägerfolie.

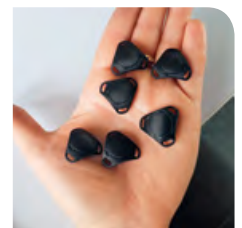
Wenn Elektroden mit einzelnen Zellen kommunizieren

Kann man mit einzelnen Zellen elektronisch kommunizieren? Ist es möglich, ihre Signale zu interpretieren und darauf zu reagieren? Diese Fragen standen am Anfang des Projekts ZellMOS, in dem das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS mit dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung und der Universität Heidelberg zusammenarbeitete.

Am Fraunhofer IMS suchte Dr. Sonja Allani nach Antworten. Dazu fertigte sie auf einem Mikrochip senkrecht nach oben stehende Nanoelektroden, die einen Durchmesser von weniger als einem Tausendstel Millimeter haben. Sie sind hohl und bestehen aus Ruthenium, einem biokompatiblen Metall mit guten elektrischen Eigenschaften. Auf dem Chip mit ganzen Arrays der Nanoelektroden kultivierte die junge Physikerin dann Nervenzellen. »Unter dem Fluoreszenzmikroskop konnte ich den Nanoelektroden-Zell-Kontakt beobachten«, berichtet Allani. »Wir konnten sogar aus einzelnen Zellen elektrische Signale ableiten.« Die Nanoelektroden könnten in Zukunft den Kontakt zwischen Implantaten und dem Gewebe verbessern – und wären damit ein weiterer Baustein, der den Weg der bioelektronischen Medizin in die Praxis ebnet. ■

»Bei Implantaten, die nur für eine kurze Zeit benötigt werden, könnten wir den Patienten eine Operation zur Entfernung der Elektrode ersparen.«

Dr. Michael Hoffmann,
Fraunhofer FEP



Das Netzwerk interaktiver Implantate besteht aus Einzelstücken von der Größe einer Zwei-Euro-Münze.
© INTAKT Innovationscluster

höchste Temperatur

mittlere Temperatur

geringste Temperatur

Heiße Musik – hier wird sie messbar!

Musik ist Energie. Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden hat sie sichtbar gemacht – als Wärme. Die Instrumente der Berliner Philharmoniker wurden nach dem Spielen aufgenommen mit einer Thermografiekamera „VarioCAM® HD head“ mit drei Objektiven (15, 30 und 60 mm Brennweite). Je nach Material stieg die Temperatur im Konzert um bis zu zehn Grad Celsius. Blechblasinstrumente nahmen die Wärmeenergie naturgemäß schneller auf, gaben sie aber auch schneller wieder ab.

Üblicherweise beschäftigen sich die Forschenden des IFAM in ihrem wärmetechnischen Labor eher mit den thermophysikalischen Eigenschaften verschiedener Verbundwerkstoffe. Immerhin: Auch in dem Thema ist viel Musik.

Temperaturskala

Bei der Thermografie wird die Intensität der Wärmestrahlung eines Körpers farblich dargestellt. Je nach Strahlungsintensität verschiebt sich die Skala von der geringsten Temperatur (schwarz) zur höchsten Temperatur (weiß).

bis
32 °C

Taktstock

Heiße Hand zum kühlen Kopf: Auch der Dirigent gibt messbar Energie ab.



bis
26 °C

Sitze

Auch die Zuhörer hinterlassen Spuren – und machen klar erkennbar: Die Aufnahmen entstanden vor der Corona-Zeit.



bis
28 °C

Violine

Der Bogen lässt die Saiten wärmetechnisch unbeeindruckt – über Hals und Kinn geben die Musiker allerdings viel Energie ab.



bis
26 °C

Horn

Heiße Luft – und die ist mit ihrer Wärmespur beim Horn exakt verfolgbar.



bis
29 °C

Flügel

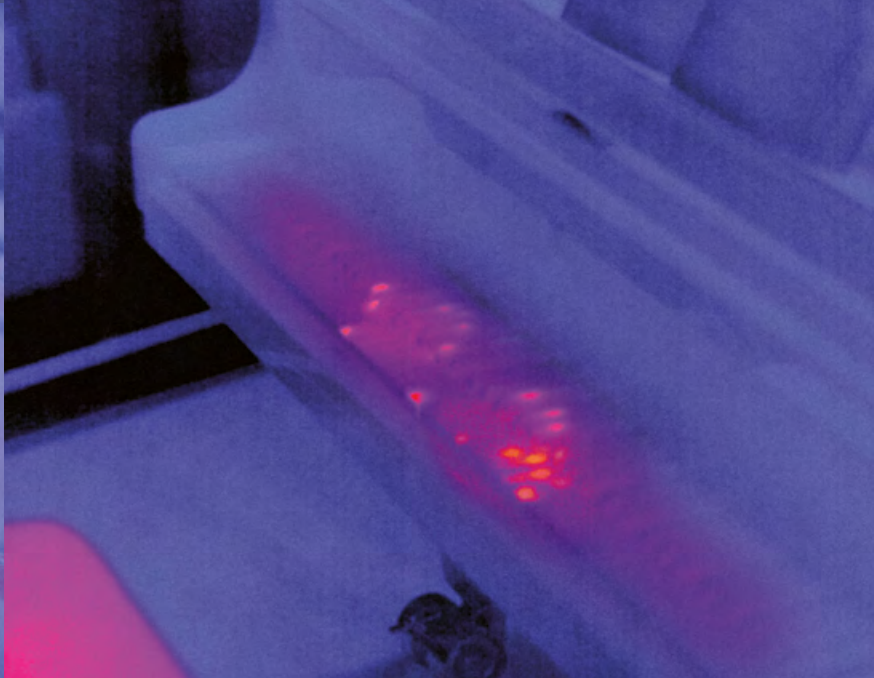
Selbst einzelne Anschläge erscheinen auf den Tasten des Flügels punktgenau. Wo die Musik spielt, ist deutlich zu erkennen.



bis
29 °C

Pauke

Die Hände des Musikers hinterlassen Wärmepunkte: Der Arbeitsplatz ist klar umgrenzt.



5G auf dem Prüfstand

Die neue Mobilfunk-Generation 5G soll bis zu 100 Mal schneller als ihre Vorgängerin sein und Übertragungen in Echtzeit erlauben. Unternehmen prüfen in den Fraunhofer-Testbeds, welche Anwendungen mit 5G bald tatsächlich möglich werden - und welche vorerst Zukunftsmusik bleiben.

Text: Mehmet Toprak

»Wer 5G einsetzt, muss entscheiden, welche Eigenschaften für die individuelle Anwendung wichtig sind.«

Matthias Schneider,
Gesamtprojektleiter
Transferzentrum
5G4KMU

Mit 5G sind Roboter nicht mehr auf das lokale WLAN-Netz angewiesen. Sie arbeiten ortsunabhängig und können sehr viel flexibler genutzt werden.
© AUDI AG



Der Hype um 5G ist groß. Jetzt muss die Technologie zeigen, was sie wirklich kann«, sagt Matthias Schneider, Gesamtprojektleiter des Transferzentrums 5G4KMU, das gerade in verschiedenen Regionen Baden-Württembergs aufgebaut wird. Hier werden kleine und mittlere Unternehmen schon bald die Möglichkeit erhalten, ihre 5G-basierten Geschäftsmodelle und innovativen Produktideen auszuprobieren. Die Fraunhofer-Experten stellen die erforderliche Infrastruktur zur Verfügung und stehen beratend zur Seite. Die Federführung hat das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Spätestens im Herbst werden die

ersten Projekte mit Unternehmen aus den Bereichen Logistik, Produktion, Labor und Klinik starten.

In Stuttgart, Karlsruhe, Reutlingen, Mannheim und Freudenstadt werden derzeit 5G-Testumgebungen eingerichtet – jede mit unterschiedlichen Schwerpunkten, von Robotik und Maschinensteuerung bis hin zu Smart Products und Künstlicher Intelligenz. Alle Einrichtungen folgen demselben Prinzip: Die Unternehmen bewerben sich mit ihrer Idee, die von Fraunhofer-Experten analysiert und überprüft wird. Die vielversprechendsten Konzepte werden ausgewählt und gemeinsam getestet.

Alles auf einmal geht nicht

Theoretisch sind mit 5G Datenübertragungsraten von bis zu zwanzig Gigabit pro Sekunde möglich und eine Latenzzeit – also die Zeit, die das Signal vom Sender bis zum Empfänger braucht – von nur einer Millisekunde. Praktisch sind solche Werte derzeit noch nicht realisierbar. Außerdem kann 5G nicht alle Leistungsparameter gleichzeitig erfüllen. Wer die innovative Technik einsetzt, muss deshalb entscheiden, welche Eigenschaften für die individuelle Anwendung wichtig sind. »Hier hilft die Technologie des Network Slicing«, sagt Schneider. »Sie macht es möglich, dass innerhalb eines 5G-Netzwerks in bestimmten definierten Abschnitten jeweils ganz unterschiedliche Parameter Priorität erhalten. Während ein Bereich des Netzwerks beispielsweise die Latenzzeit bevorzugt, wird ein anderer Abschnitt auf möglichst hohe Bandbreite optimiert.«

Um hochauflösende 4K- oder sogar 8K-Videos ruckelfrei auf die Endgeräte bringen zu können, benötigt etwa ein Entertainment-Anbieter, der Videos übers Web streamt, hohe Datenübertragungsraten. Kleine Einbußen bei der Zuverlässigkeit und eine längere Latenzzeit sind zu verschmerzen. Der Industrieroboter dagegen benötigt keine hohen Datenübertragungsraten, aber eine kurze Latenzzeit. Nur so ist Echtzeit-Steuerung möglich. Wenn auf einer großen landwirtschaftlichen Fläche Hunderte von Sensoren eingesetzt werden, die Daten über Temperatur, Windverhältnisse oder den Pflanzenwuchs senden, etwa, um Erntemaschinen zu steuern, dann ist vor allem Energieeffizienz gefragt. Denn die Sensoren sollen über Monate, vielleicht sogar Jahre arbeiten, ohne dass die Batterie ausgetauscht werden muss.

Besonders große Vorteile bietet 5G im Bereich Robotik und Maschinensteuerung. So könnten mit der ultraschnellen Mobilfunktechnik die Daten eines Sensors, der in einer Maschine oder einem Bauteil integriert ist, praktisch ohne Verzögerung in der Steuerung der Maschine ankommen. Ein komplexerer Aufbau würde es auch erlauben, nicht nur einzelne Maschinen, sondern den gesamten Fertigungsprozess mithilfe von 5G-basierten Technologien zu kontrollieren, im Idealfall über das ganze Werksgelände. Selbst die Steuerung der Produktion über verschiedene Standorte hinweg ist denkbar. Wenn 5G-Netze mit entsprechenden Routern und Antennen verknüpft sind, legen die Daten auch längere Strecken zurück. ►

Immer intelligentere Roboter müssen Umengen an Daten verarbeiten. Mit 5G wird es deutlich einfacher, die Rechenleistung in die Cloud auszulagern.



8 Teilprojekte

1 5G-Multisensor: Produktionsprozesse sollen durch Multisensorsysteme optimiert werden. Die Sensoren messen beispielsweise Werte wie Temperatur, Beschleunigung, Kräfte oder Position von Bauteilen.

2 5G-AE-Sensor: Acoustic Emission Sensoren, die direkt am Bauteil befestigt sind, sollen bei Fräsvorgängen frühzeitig erkennen, wenn das Werkzeug durch übermäßige Belastung oder Verschleiß zu brechen droht.

3 5G-Blockchain: Das Projekt testet, ob ein komplett drahtloses Netzwerk auch für eine Blockchain-Anwendung für Datentransaktionen geeignet ist.

4 5G-Logistics: Eine Logistik-Lösung demonstriert, wie mobile Systeme mit 5G-Unterstützung auf dem Werksgelände navigieren können.

5 5G-Robotics: Ein Kontrollsystem für mobile Roboter, die sich bei der Zusammenarbeit selbst organisieren und dabei drahtlos mithilfe von Sensorsystemen navigiert werden.

6 5G-Cockpit: Aufbau einer zentralen Steuerplattform, die Prozesse und Sensoren an unterschiedlichen Standorten überwacht. Die Daten werden über eine Cloud-Plattform getauscht.

7 5G-Edge-Cloud: Eine Cloud-Plattform, in der die Analyse der Daten aus der Fertigung mit dem Funknetzwerk verbunden wird.

8 5G-3D-Sensor: Entwicklung eines 3D-Sensor-Systems, das die Geometrie von Werkstücken scannt und kabellos in Robotern oder Werkzeugmaschinen integrierbar ist.



► Beim Testbed des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart liegt der Fokus auf Smart Products und Smart Services. »Wir arbeiten an Konzepten, die 5G mit dem Sammeln und dem KI-basierten Auswerten von Daten kombinieren«, sagt Dimitri Evcenko aus dem Team Digital Business Services. Interessant ist 5G für individuelle Datendienste, zum Beispiel die vorausschauende Wartung in der Industrieproduktion. »Auf Basis der gesammelten Daten prognostiziert die KI dann beispielsweise den nächsten notwendigen Wartungstermin oder den Ausfall eines Verschleißteils«, erklärt Evcenko.

Manche Unternehmen zögern trotzdem noch.

Das mag daran liegen, dass das Standardisierungsgremium 3GPP (3rd Generation Partnership Project) weiterhin an den Spezifikationen für 5G arbeitet und immer wieder neue Releases herausbringt. Derzeit ist Release 15 aktuell. Ist der Standard also noch gar nicht fertig? »Mit dem aktuellen Release sind bereits hohe Geschwindigkeiten möglich. Darüber hinaus bildet es die Grundlage für die Echtzeitanbindung mit niedriger Latenz und die Vernetzung sehr vieler Geräte. Die bestehende Infrastruktur kann dann um neue Funktionen in Form von neuer Hardware oder Firmware-Updates erweitert werden«, erklärt Evcenko. »Wer jetzt in 5G-Hardware investiert, muss nicht befürchten, dass alle Geräte in zwei Jahren wieder ausgetauscht werden müssen.«

Ausreichend Platz für anspruchsvolle Anwendungen

Der neue 5G-Standard bietet überdies die Möglichkeit, ein eigenes Mobilfunknetz aufzubauen. Der Frequenzbereich zwischen 3,7 und 3,8 GHz ist für die Industrie reserviert. Unternehmen beantragen bei der Bundesnetzagentur eine Lizenz und bauen dann auf ihrem Werksgelände in Eigenregie ihr Funknetz auf.

Was versteckt sich hinter einer Abdeckung, wo ist eine Reparatur notwendig? Mit 5G-Netz und Edge Computing können hochauflösende Bilder problemlos auf Datenbrillen gebracht werden. © Bosch

Auch der »5G-Industry Campus Europe« in Aachen beschäftigt sich intensiv mit den neuen Möglichkeiten der 5G-Technik und hat dazu eine Lizenz zum Betrieb des 5G-Netzes erhalten. Niels König vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT koordiniert alle Partner und Einzelprojekte der Forschungskooperation. Mit von der Partie ist auch die RWTH Aachen mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL und dem IT-Center sowie dem Forschungsinstitut für Rationalisierung FIR an der RWTH Aachen. Für Netzwerk und Funkausstattung sorgt der schwedische Mobilfunknetzausrüster Ericsson.

Der Forschungscampus verfügt über rund 7000 Quadratmeter Hallenfläche. Platz genug, um auch anspruchsvolle Anwendungsszenarien durchzuspielen. Insgesamt acht Teilprojekte sind geplant (vgl. Kasten). Die ersten Projekte greifen bereits auf das funktionierende 5G-Netz zu. »Wir haben das Indoor-Netz installiert und die Funkzellen in Betrieb genommen. Im Sommer folgt das ein Quadratmeter große Outdoor-Netz«, sagt König. Ziel ist, die 5G-Technik für ganz unterschiedliche Nutzungsszenarien zu erforschen und weiterzuentwickeln.

Eine entscheidende Rolle bei der Steuerung und Kombination aller Techniken spielt die Software. Im Zeitalter von 5G und Industrie 4.0 sind Schaltschränke mit fest verdrahteter Steuerung bald Geschichte. Maschinen und Fertigungsstraßen lassen sich schnell neu konfigurieren und umprogrammieren. Edge-Cloud und Software-Steuerung machen die 5G-Anwendungen noch flexibler. »Der Charme besteht darin, dass man jede beliebige Anwendung einfach skalieren, schnell anpassen und neu konfigurieren kann«, erklärt Niels König. ■

Energie- und Hoffnungsträger

Die Menschheit braucht die Energiewende, die Energiewende braucht den Wasserstoff: 28 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft bündeln ihre Stärken im »Netzwerk Wasserstoff«, um das Potenzial des Gases umfassend zu erschließen.

Text: Mehmet Toprak



Noch ist es nur eine Offshore-Windturbine mit acht Megawatt, die das geplante Elektrolyseur-Testfeld des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES in Bremerhaven mit grünem Strom versorgt. Doch das Projekt ist zukunftsweisend. Die IWES-Forschenden kombinieren die Windenergiesysteme mit Wasserstoff-Technologie. Sie wollen testen, wie gut ein Windpark bei einer direkten Kopplung mit Elektrolyseuren zusammenarbeitet, ohne dass eine elektrische Verbindung zum öffentlichen Netz besteht. Der erzeugte Wind-Strom soll möglichst direkt Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff spalten. So kann das lokale Windenergieangebot optimal genutzt und Netzengpässe vermieden werden.

Hoffnungsträger Wasserstoff: 28 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft haben sich zum »Netzwerk Wasserstoff« zusammengeschlossen. Wasserstofftechnologien zählen neben Quantentechnologien, Künstlicher Intelligenz, Intelligenter Medizin, Next Generation Computing, Ressourceneffizienz und Klimatechnologien sowie Bioökonomie zu den zentralen strategischen Forschungsfeldern bei Fraunhofer. Wasserstoff treibt auch schon lange die Politik um. Das Bundesforschungsministerium hat nun eine »Nationale Wasserstoffstrategie« beschlossen, die den Einstieg der Bundesrepublik in eine Wasserstoffwirtschaft und nachhaltige Energieinfrastruktur vorbereiten soll. Darin sind alle Sektoren wie Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung gekoppelt und alle Systeme der Erzeugung und der Verteilung integriert. Um dem Vorhaben noch mehr Schub zu verleihen, hat die Bundesregierung den Ideenwettbewerb »Wasserstoffrepublik Deutschland« gestartet. Insgesamt 600 Millionen Euro stehen für Ideen und Innovation aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft bereit.

»Es gibt heute selbst global einen breiten Konsens darüber, dass wir eine Energiewende brauchen – und da führt am Was-

serstoff kein Weg vorbei«, erklärt Prof. Christopher Hebling vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (siehe Interview auf Seite 77). Zusammen mit Prof. Mario Ragwitz, Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG, leitet er das Netzwerk Wasserstoff. Die derzeit sehr große Dynamik im Themenfeld Wasserstoff spiegelt sich wider z. B. in Modellregionen und Strategieprozessen vieler Bundesländer. Auf der Seite der Fraunhofer-Gesellschaft wurden in diesem Jahr aus Eigenmitteln folgende institutsübergreifende Forschungsprojekte gestartet: Im Januar angelaufen ist HOKOME – ein Vorhaben zur Entwicklung hochproduktiver und kosteneffizienter Fertigungsmethoden für Komponenten von Brennstoffzellen-Stacks. Zeitgleich ging das Projekt Neo-PEC an den Start. Hier entwickeln Fraunhofer-Forschende neuartige Tandem-PEC-Module, die Wasserstoff direkt und kostengünstig aus Sonnenlicht und Wasser gewinnen.

Die Vorteile von Wasserstoff sind bekannt. Dieses farb- und geruchlose Gas lässt sich grundsätzlich aus Wasser in unbegrenzter Menge herstellen und besitzt ein enormes Energiepotenzial – so enthält ein Kilo Wasserstoff ebenso viel Energie wie 2,8 Kilo Benzin. Wasserstoff verbrennt rückstandsfrei und kann in verschiedenen Verfahren erzeugt werden. Neben der heute industriell genutzten Dampfreformierung von Erdgas kann es klimaneutral durch Wasserelektrolyse erzeugt werden. Am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF forscht man an der Wasserstofferzeugung aus Biomasse. Dabei werden Mikroorganismen und ein Gärungsverfahren genutzt, bei dem Wasserstoff entsteht. Vor allem ist Wasserstoff außerordentlich vielseitig in der Anwendung. Er lässt sich ebenso zur Erzeugung von Strom verwenden wie zur Herstellung von flüssigen Kraftstoffen wie Methanol oder länger-kettigen Kohlenwasserstoffen. In der Stahlerzeugung kann er die CO₂-Emissionen bei der Behandlung von Eisenerz deutlich senken. ▶

Die Energiewende ist kein Kinderspiel – doch Wasserstoff kann einen erheblichen Anteil leisten, um die Zukunftsziele zu erreichen. © Adobe Stock

Ein Kilo Wasserstoff hat so viel Energie wie 2,8 Kilo Benzin.

Bis zu 800 Terawattstunden Energie aus Wasserstoff könnte Deutschland im Jahr 2050 benötigen.

Studie des Fraunhofer ISE

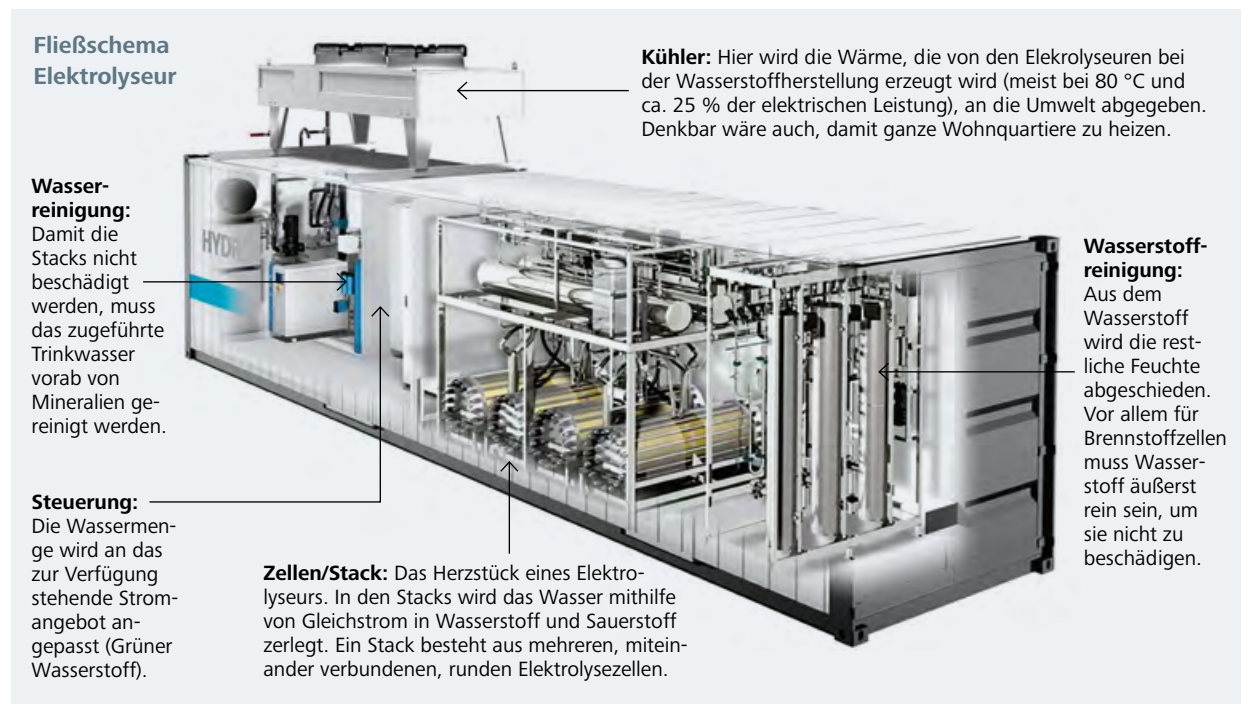
► Am Windpark-/Elektrolyseur-Testfeld in Bremerhaven wird der Wasserstoff unter hohem Druck in Stahlbehältern zwischengespeichert. Diese Energiespeicher können beispielsweise auf Lkw-Trailern weitertransportiert und regional an Verbraucher verteilt werden. Alternativ kann dieser grüne Wasserstoff von einem zweiten vorgeschalteten Zwischenspeicher mit niedrigerem Druckniveau mithilfe von Brennstoffzellen wieder rückverstromt und ins öffentliche Netz eingespeist werden – auf diese Weise lassen sich nebenbei die Schwankungen bei der Stromerzeugung glätten, wie sie bei Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen unvermeidlich sind. Der Strom stammt ausschließlich aus erneuerbarer Energie, bei der Herstellung entstehen keine Treibhausgase. »Off-shore-Windparks in Kombination mit Wasserstoff-Produktion vor Ort wären ein idealer Baustein, um eine nachhaltige Energiewirtschaft zu realisieren«, erklärt Prof. Jan Wenske, Stellv. Institutsleiter und Direktor Technik am Fraunhofer IWES.

Wasserstoff im Industriemaßstab

Besonderer Fokus liegt dabei auf den Elektrolyseuren. Sie müssen so leistungsfähig skaliert werden, dass sie Wasserstoff im Industriemaßstab herstellen können. Eine Studie des Fraunhofer ISE von 2019 schätzt, dass Deutschland 2050 bis zu 800 Terawattstunden Energie aus Wasserstoff benötigen könnte. An der weiteren Steigerung des Wirkungsgrades und der Langzeitstabilität der Anlagen arbeitet aktuell das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Dr. Matthias Jahn, Geschäftsfeldleiter Umwelt- und Verfahrenstechnik, weiß: »Eine wichtige Voraussetzung für die wirtschaftliche Herstellung von grünem Wasserstoff stellen die Rahmenbedingungen bezüglich der Stromkos-

ten dar (wie etwa Netzentgelte und EEG-Umlage), da die Wirtschaftlichkeit sehr stark vom Strompreis abhängig ist. Weiterhin müssen die Herstellkosten für die Elektrolyseure reduziert werden, was durch eine Automatisierung der Fertigung erreicht werden kann.« Darüber hinaus entwickelt das Institut Verfahren, bei denen die Hochtemperaturelektrolyse von Wasserstoff mit der sogenannten Fischer-Tropsch-Synthese gekoppelt wird. Damit lassen sich unterschiedliche Grundmaterialien für die chemische Industrie klimaneutral herstellen, beispielsweise synthetische Wachse. Diese werden in der Industrie als Schmierstoff verwendet. Außerdem kann die PtX-Technologie zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe wie Diesel oder Kerosin genutzt werden. Das dazu zusätzlich notwendige CO₂ kann aus Industrieabgasen oder aus der Luft gewonnen werden, wodurch ein CO₂-Kreislauf entsteht. »Die keramischen Stacks für den Einsatz in der Hochtemperatur-Elektrolyse sind eines unserer Kernthemen«, erklärt Jahn.

Um die Energiewende mittels Hochtemperaturelektrolyse vorantreiben zu können, stehen zukünftig Forschungsaufgaben wie die Optimierung der Gesamtanlagen sowie die Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades der Elektrolyseure auf der Agenda. »Das Hochskalieren der Elektrolyseure, die Systemintegration und die Koppelung der Systeme sind noch eine echte Herausforderung«, konstatiert Jahn. Manchmal sind die Probleme ganz trivial. So erklärt Jan Wenske vom Fraunhofer IWES: »Für Unternehmen, die einen Elektrolyseur einsetzen wollen, ist das gar nicht so einfach. Die Lieferzeit für entsprechende Anlagen beträgt derzeit bis zu 15 Monate.« Lange Lieferzeiten sind aber auch ein Indiz für den Bedarf. Grüner Wasserstoff ist mehr geworden als ein umweltfreundlicher Energieträger – er ist ein Hoffnungsträger. ■



»Ökologisch sinnvoll und rentabel«



Ohne Wasserstoff keine erfolgreiche Energiewende: Prof. Christopher Hebling ist überzeugt von den Möglichkeiten – und glaubt an viel mehr als nur die Brennstoffzelle für die Mobilität.

Interview: Mehmet Toprak

Prof. Christopher Hebling (Foto) leitet zusammen mit Prof. Mario Ragwitz das Fraunhofer-Netzwerk Wasserstoff – und ist Wasserstoff-Experte seit 20 Jahren.
© Fraunhofer ISE

Alle reden von Wasserstoff. Warum gerade jetzt?

Hebling: Die Notwendigkeit einer globalen Energiewende ist allgemein anerkannt, und da führt am Wasserstoff kein Weg vorbei.

Hat man das Potenzial dieses Energieträgers früher unterschätzt?

Ja, das würde ich durchaus so sehen. Früher wurde das Interesse an Wasserstoff nur durch das Thema umweltfreundliche Mobilität getrieben. Heute geht es um viel mehr, nämlich um die Frage, wie wir die Energie- und Kraftstoffversorgung ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich rentabel organisieren.

Welche Vorteile hat Wasserstoff?

Er lässt sich in unbegrenzten Mengen aus Wasser herstellen, über lange Zeit praktisch luftfrei speichern und auch über weite Strecken gut transportieren. So kann er helfen, nachhaltig produzierten Strom über die Wasserelektrolyse in die Verbrauchssektoren Verkehr, Industrie, Chemie und in die Haushalte zu überführen. Man kann ihn in Raffinerien oder in der Stahlindustrie zur CO₂-Emissionsreduktion verwenden, in Brennstoffzellenfahrzeugen, wie Lkw, Busse oder Pkw, oder als nachhaltige Basischemikalie in chemischen Prozessen, um nur einige Beispiele zu nennen. Denn Wasserstoff ist ja viel mehr als nur ein Energieträger: Hinter dem Stichwort verbirgt sich ein riesiger Bereich – da geht es auch um Aspekte wie nachhaltige Chemie, Power-to-X und eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft.

Hat Deutschland noch die Chance, Marktführer dieser Technologie zu werden?

Die Voraussetzungen dafür haben wir. Aber das ist nicht unbedingt das entscheidende Thema. Entscheidend ist vielmehr, dass wir die globale Aufgabe einer nachhaltigen Energiewirtschaft als Chance verstehen und auch internationale Kooperationen und Energiepartnerschaften eingehen, um die ökologische Energiewende im globalen Maßstab mitzugestalten. Industriepolitisch können die Wasserstofftechnologien für Deutschland ganz wichtig werden, da wir über eine exzellente Forschungs- und Industrielandschaft verfügen. Aber wir sind nicht die Einzigen, die das Thema Wasserstoff entdeckt haben. Ich bin sehr viel auf Reisen und erlebe, dass in vielen Ländern Programme aufgelegt werden, egal ob in Japan, Südkorea, China, Südafrika, Chile oder Australien, im Nahen Osten wie im Oman oder in Saudi-Arabien. In Saudi-Arabien, Australien oder Marokko beispielsweise entstehen gerade riesige Wasserstoffprojekte.

Die Energiewende wird teuer. Da Wasserstoff ein gefährlicher Stoff ist und besondere Sicherheitsmaßnahmen verlangt, wird die Wasserstoffstrategie nicht am Ende unrentabel?

Alle Fraunhofer-Institute versuchen, Techniklösungen zu entwickeln, mit denen Hightech-Systeme zu vertretbaren Kosten realisiert werden können. Da geht es dann beispielsweise um Fragen der Langlebigkeit von Brennstoffzellensystemen, von Elektrolyseuren oder eines gesamten Wasserstoffsystems. Wenn Sie einen Brennstoffzellenantrieb in einem Pkw verbaue-

en, darf der die Gesamtkosten im Vergleich zu konventionellen Autos nicht sprengen.

Das Wasserstoff-Auto lebt?

Das dürfen Sie nicht mich fragen. Ich bin ein Wasserstoffmann (lacht). Richtig ist, dass Wasserstoff in der Gesamtkette nicht so energieeffizient ist wie der Lithium-Ionen-Akku. Trotzdem wird der Brennstoffzellenantrieb auch fürs Auto kommen. Unternehmen aus Japan und Südkorea bauen ab nächstem Jahr 30 000 Pkw mit Brennstoffzellenantrieb, die dann zu erheblichen Anteilen auch nach Deutschland exportiert werden. In Deutschland haben wir derzeit fast 100 Wasserstoff-Tankstellen, bis 2023 sollen es 400 sein.

Das ist nicht besonders viel ...

... das täuscht, denn ein Wasserstoff-Auto hat eine Reichweite von bis zu 650 Kilometern, und es ist in drei Minuten vollgetankt. In puncto Reichweite und Tanken fahren Sie ebenso problemlos wie beim klassischen Verbrenner. Und Wasserstoff »verbrennt« in der Brennstoffzelle rückstandsfrei, lediglich etwas Feuchte wird emittiert.

Sie sind Wasserstoff-Experte seit 20 Jahren. Wie hat sich die Diskussion verändert?

Zum Guten. Sie hat insbesondere in den vergangenen Monaten einen großen Sprung nach vorne gemacht. Ich sehe mit Freude, dass die Bundesregierung in ihrer nationalen Wasserstoffstrategie die richtigen Schwerpunktsetzungen vorgenommen hat und auch viele Punkte aus unserem Positionspapier »Eine Wasserstoffroadmap für Deutschland« übernommen hat. ■

Schnelle Hilfe für Verschüttete

Sei es bei Lawinen, sei es bei Erdbeben: Verschüttete müssen schnellstmöglich geborgen werden. Mit neuartigen, mobilen Radargeräten lassen sich künftig hektargroße Bereiche rasch und gründlich durchsuchen.

Text: Dr. Janine van Ackeren



Einstürzende Häuser sind für Menschen bei einem Erdbeben die größte Gefahr. Dauert die Bergung zu lange, drohen Verschüttete zu ersticken, zu dehydrieren oder an ihren Verletzungen zu sterben. © dpa

Mehrere hundert Male bebt die Erde – pro Tag! Die meisten dieser Beben sind nicht allzu stark, andere jedoch entwickeln eine enorme Zerstörungskraft, bringen Gebäude zum Einsturz und lassen Tsunamis entstehen, die ganze Landstriche plattwalzen. Rettungskräfte stehen bei einer solchen Katastrophe einer schwierigen Aufgabe gegenüber: Wo in all den Trümmern befinden sich Verletzte, die dringend Hilfe benötigen? Anhaltspunkte können Radargeräte liefern. Jedoch lassen sich diese bislang nur stationär betreiben. Das System wird also an einer Stelle aufgestellt und kann von dort aus – je nach Radar – etwa zwanzig bis dreißig Meter weit schauen. Zu wenig, wenn es um großflächige Zerstörungen geht.

Eine Technologie des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR kann den Suchradius deutlich vergrößern. »Wir haben ein mobiles Radargerät entwickelt, das Puls und Atmung verschütteter Personen bestimmen und sie auf diese Weise orten kann«, erläutert Dr. Reinhold Herschel, Teamleiter am Fraunhofer FHR. »Langfristig könnte eine Drohne, bepackt mit dem Radargerät, die Unglücksstelle abfliegen. So lassen sich selbst hektargroße Bereiche effektiv und schnell durchsuchen.«

Das dahinterliegende Prinzip: Das Radargerät sendet eine Welle aus, die an den Trümmerteilen zum Teil reflektiert wird, zum Teil durch sie hindurchgeht – und dann beispielsweise vom Verschütteten zurückgestrahlt wird. Über die Zeiten, die das Signal braucht, um wieder am Detektor des Radargeräts anzukommen, lassen sich die Entfernungen berechnen. Bewegt sich ein Objekt – hebt und senkt sich etwa die Haut des Verschütteten bei jedem Pulsschlag um einige hundert Mikrometer –, so ändert sich die Phase des Signals. Ebenso bei den Atembewegungen. Da man nur zehn- bis zwölfmal pro Minute Luft holt, das Herz aber durchschnittlich 60 Mal pro Minute schlägt, lassen sich diese Signaländerungen über

Algorithmen gut voneinander trennen. Auch den Ort, an dem sich ein Verschütteter befindet, können die Forscher genau bestimmen. Möglich machen es MIMO-Radare, kurz für Multiple Input Multiple Output, die über mehrere Sender und Empfänger verfügen – es lassen sich also verschiedene »Blickwinkel« realisieren, über die dann die genaue Position bestimmt werden kann, an der die Rettungssanitäter nach dem Überlebenden graben müssen.

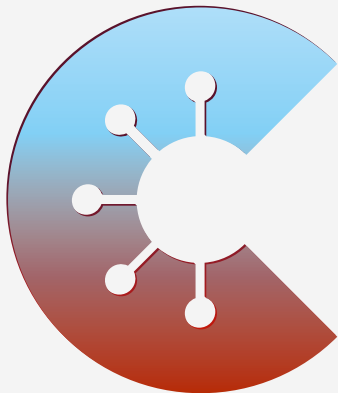
Bewegung und Abstand sind kein Problem

Das Besondere an der Technologie: Die Kombination von Bewegung und präziser Lebenszeichendetektion. Die Bewegung kann sich dabei zum einen – wie beschrieben – auf eine Drohne beziehen, die das Unglücksgebiet überfliegt. Das Prinzip lässt sich aber auch umkehren: Stellt man das Gerät an eine feste Stelle, lassen sich die Lebenszeichen von Menschen detektieren, die sich im Umkreis des Geräts bewegen. Sinnvoll kann das etwa bei zahlreichen Verletzten sein, die beispielsweise nach einem Erdbeben in einer Turnhalle erstversorgt werden. Über das Radargerät lassen sich die Lebenszeichen aufzeichnen und den jeweiligen Verletzten zuordnen. Wer braucht die Hilfe am dringendsten? Der Algorithmus schaut dabei vor allem nach Veränderungen: Flimmert das Herz? Atmet der Patient sehr schnell? Die verschiedenen Signale können auseinander gerechnet und getrennt dargestellt werden. Und das mit hoher Genauigkeit: Die Pulsfrequenz beispielsweise misst das Radargerät auf ein Prozent genau, wie der Vergleich mit tragbaren Pulsgeräten ergab. Während bei der Suche nach Verschütteten per Radar noch Forschungsbedarf besteht, hat das Forscherteam bei der Lebenszeichendetektion von sich bewegenden Personen bereits erfolgreich Testläufe mit einem Abstand von bis zu 15 Metern durchgeführt. ■

»Selbst hektargroße Bereiche lassen sich effektiv und schnell durchsuchen.«

Dr. Reinhold Herschel, Teamleiter »3D-Sensorsysteme« am Fraunhofer FHR

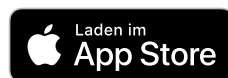
#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:

**BRAUCHT DICH.
UND DICH UND
DICH UND DICH.**

Jetzt die Corona-Warn-App herunterladen
und Corona gemeinsam bekämpfen.



FRAUNHOFER SOLUTION DAYS 2020

#WeKnowSolutions

Präsentation. Inspiration. Vision: Das digitale Fraunhofer-Event im Herbst 2020. Freuen Sie sich auf aktuelle Technologie-Highlights, Workshops und Live-Chats mit unseren Expertinnen und Experten. Weil Wissen Perspektiven schafft. Weitere Infos unter: www.fraunhofer.de/solutiondays

