



# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

»Ich glaube  
an Wasserstoff«  
Nico Rosberg  
im Gespräch

1 | 21

## Klima- Stress

Starkregen, Sturm, Hitze:  
Wie wir unsere Städte  
resilienter machen

**Was tut ein Kanzler Scholz  
für die Forschung?**  
Der Kandidat im Interview

**»Campus der Sinne«**  
Whisky & Wissenschaft:  
Genuss-Begegnungen



# FRAUNHOFER SOLUTION DAYS 2021

## #WeknowSolutions

Präsentation. Inspiration. Vision: Die erfolgreichen Fraunhofer Solution Days gehen in die nächste Runde. Freuen Sie sich auf die neuesten Technologie-Highlights und aktuelle Spotlights mit unseren Expertinnen und Experten – Thementage ab Mai online. Weil Wissen Perspektiven schafft.

Weitere Infos unter: [www.fraunhofer.de/solutiondays](http://www.fraunhofer.de/solutiondays)



## Editorial

# Ein Frühjahr des Aufbruchs

Hinter uns liegt eine Zeit, die uns allen viel abverlangt hat, vor uns ein Frühjahr des Aufbruchs. Schon zum Start in dieses Jahr hat Fraunhofer den Institutsteil TMP des Fraunhofer IME in das eigenständige Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP mit Hauptsitz in Frankfurt am Main und Standorten in Hamburg und Göttingen überführt. Kern der wissenschaftlichen Zielsetzung des neuen Instituts mit aktuell mehr als 120 Mitarbeitenden ist der Transfer von innovativen Ideen, Technologien und Methoden aus der biomedizinischen Forschung in die medizinische Anwendung und die Wirtschaft.

**Transfer ist das Rückgrat** des deutschen Innovationsystems, um das uns so viele Länder weltweit beneiden. Die Innovationskraft ist geblieben. In diesen Tagen hat das Europäische Patentamt EPA berichtet, dass deutsche Unternehmen und deutsche Erfinder im vergangenen Jahr europaweit die meisten Patente angemeldet haben. Fast 26 000 Patentanmeldungen registrierte die Behörde für das Jahr 2020. Doch geht es auch darum, Ideen in die Märkte zu bringen. Es ist der Transfer über Köpfe, Kompetenzen und Know-how, der die Fraunhofer-Gesellschaft auszeichnet, wenn Forscherinnen und Forscher in die Industrie wechseln, wenn sie patentieren, lizenzieren, ausgründen.

**480 erfolgreiche Ausgründungen** sind uns seit dem Jahr 2000 gelungen. 600 Hightech-Patente pro Jahr haben wir in unseren Fraunhofer-Instituten angemeldet, durchschnittlich mehr als zwei pro Arbeitstag. Wenn in diesem April unser Fraunhofer-Venture 20. Jubiläum feiert, steht das auch für 20 Jahre praktische Unterstützung für junge Unternehmen, für Gründerinnen und Gründer durch den Zugang zu Fraunhofer-Technologien, -Infrastruktur und -Know-how. Mit Leidenschaft hat sich die Fraunhofer-Gesellschaft dem Technologietransfer verschrieben. Auch in diesem Fraunhofer-Magazin sind Ausgründungen ein Thema. Mit Quantum Optics Jena geht das erste Quantentechnologie-Spin-off von Fraunhofer an den Start (S. 68), um unsere Kom-



Prof. Reimund Neugebauer

munikationsnetze mit Quantenverschlüsselung sicherer zu machen. Es sind Forscher vom Fraunhofer HHI, die mit dem Spin-off Volucap der Filmproduktion ungeahnte 3D-Möglichkeiten schaffen (S. 72). Da ist es sicher kein Zufall, wenn der einstige Formel 1-Weltmeister und heutige Investor Nico Rosberg im Interview mit diesem Magazin versichert, dass ihm bei seinen Investitionsentscheidungen in zukunftsfähige Start-ups die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren Strategiepapieren und Studien sehr hilfreich sei (S. 92).

Forschung und Anwendung zu verbinden, ist die Kernkompetenz von Fraunhofer. Wir werden diesen Weg mit aller Entschiedenheit weitergehen. Denn nur so werden wir den zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen wie der Pandemie, der Digitalisierung, der Klima- und Mobilitätskrise, den globalen Handelskonflikten und dem regionalen Strukturwandel begegnen. Nur so werden wir uns im internationalen Wettbewerb behaupten. Nur mit exzellenter Forschung und Technik können wir unsere Zukunft positiv gestalten. Lassen Sie uns gemeinsam daran arbeiten.

Ihr

Reimund Neugebauer  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

## Inhalt



**10**

**Titel**

### Im Klima-Stress

Starkregen, Sturm, Hitze: Wie wir unsere Städte resilienter machen.



**22**

### »Schmidt. Schröder. Scholz.«

Olaf Scholz hat sich als Erster zur Kanzlerkandidatur bekannt – und verortet sich in einer Reihe mit erfolgreichen SPD-Politikern. Das Interview.

**03 Editorial**

**06 Kurz gemeldet, Impressum**

**10 Im Klima-Stress**

Die Wetter-Extreme nehmen zu. Doch es gibt Gegenmaßnahmen

**22 »Schmidt. Schröder. Scholz.«**

Im Interview: Olaf Scholz, Kanzlerkandidat der SPD

**26 Corona und die Frage: Was hätten wir besser machen können?**

So analysieren fünf Fraunhofer-Institute die Entscheidungen der Politik

**28 Big Data – Big Privacy**

Die Medizin profitiert – aber wie schützen wir die Daten?



**35**

**»Campus der Sinne«**

### Wie Technik schmeckt, riecht und hört

Neues von der Digitalisierung der Sinne – und wie sie die Praxis erreicht.

**35 Whisky, nüchtern betrachtet**

Das Destillat ist Weltgetränk und Kult: Wie lassen sich Aroma und Geschmack entschlüsseln?

**42 Brandgefährlich**

Die meisten Feuer brechen in der Küche aus. Jetzt lernt die Alarmtechnik das Riechen

**44 Wie wäre eine Welt ohne Geruch?**

Corona hat uns gezeigt, wie gefährdet unsere Sinne sind. Eine Aromaforscherin und ein Sternekoch sprechen übers Genießen

**48 3 x 3 Fragen**

Was wird uns die Digitalisierung der Sinne wirklich bringen?

**50 Ohren auf!**

Besser fernsehen, schöner shoppen, sicherer fliegen

### 30 DNA-Origami gegen Infektionen

Neue Therapien gegen Viren und antibiotikaresistente Keime

### 34 »Angriffsflächen sind größer geworden«

Im Interview: Dr. Haya Shulman, Gewinnerin des IT-Sicherheitspreises

### 35 »Campus der Sinne«

So lernt Technik riechen und hören – und was sich dadurch verändert

### 54 Stimme aus der Wirtschaft

Strategie-Chef Peter Körte, Siemens AG

### 56 Unser ökologisches Gedächtnis

Früher war nicht alles besser: Das beweist die Umweltprobenbank

### 60 Innovationsprung mit Quanten

Das neue Zeitalter hat begonnen – die ersten Erfahrungen bei Fraunhofer in Deutschland

### 62 Teamarbeit nach Corona

Was wir vom Homeoffice lernen

### 64 Aus Wald wird neu

Höher, schneller, weiter: Rekordarchitektur mit dem Baustoff Holz

## 30 DNA-Origami gegen Infektionen

Kunstvoll gefaltete Stränge werden zur Basis für neue Medikamente.

Fotos: Anne Hufnag, Heinz Heiss, Michela Morosini, Nikken Sekkei, Tom Ziara



## 64

### Aus Wald wird neu

Plan für Tokio: ein Wolkenkratzer aus 90 Prozent Holz – Megatrend im Bauen.

### 68 Serie: Gründen mit Fraunhofer

Mit Quantum Optics Jena startet das erste Quantentechnologie-Spin-off von Fraunhofer

### 70 Nervenzellen vom Fließband

Hoffnung beim Volksleiden Demenz

### 72 Ich glaub, ich bin im Film!

Das Fraunhofer-Spin-off Volucap revolutioniert 3D

### 74 Hugo-Geiger-Preis

Qualität, Interdisziplinarität und Relevanz für die Wirtschaft: drei Preisträger und ihre Leistungen

### 78 Sparsamer Funkverkehr

Das Internet der Dinge und sein enormer Energiebedarf

### 80 Fraunhofer international

### 82 Zum Wegwerfen zu schade

Eine Welt ohne Abfall, Produkte im ewigen Kreislauf



## 92

### »Ich glaube an Wasserstoff«

Verbrennungsmotoren machten ihn zum Weltmeister. Als Investor sieht er die Zukunft neu. Nico Rosberg im Gespräch.

### 88 Mit KI Lebensmittelabfälle reduzieren

Intelligente Algorithmen helfen, zwölf Millionen Tonnen Müll zu verhindern

### 90 Fraunhofer & Foto

Technik vom Fraunhofer IST auf dem Mars

### 92 »Ich glaube an Wasserstoff«

Ex-Formel-1-Weltmeister Nico Rosberg im Interview

### 95 Fraunhofer vor Ort

**#homeoffice** Beim Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO häufen sich die Anfragen (S. 60): Wie soll es weitergehen mit der Arbeit, was wird Corona auf Dauer verändert haben? Eine beruhigende Nachricht vorneweg: 43 Prozent der Befragten fühlen sich heute schon im Homeoffice so produktiv wie zuvor.

# 43%

## Kurz gemeldet



Die Stadionbesucher sehen die reale Bandenwerbung, die TV-Zuschauer das, was der Sender will.

## Zielgruppengerecht werben

Fußball-EM und die französischen TV-Zuschauer sehen im Endspiel eine andere Bandenwerbung als die deutschen? Eine innovative Technologie des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS macht es möglich.

Und so funktioniert sie: Die Anzeige der Werbung auf den LED-Banden wird um zwei Millisekunden verkürzt und stattdessen eine magentafarbene Fläche eingeblendet – zu kurz, um vom menschlichen Auge wahrgenommen zu werden. Aufnahmezeitpunkt und -dauer der TV-Kamera sind so eingestellt, dass sie nur den Magenta-Blitz aufzeichnet. Jetzt kommt das etablierte, sogenannte Blue-Screen-Verfahren zum Einsatz: Im Bild, das die Kamera aus dem Stadion ins TV-Studio liefert, wird ein neuer Inhalt auf die Magenta-Farbfläche gesetzt. Auf diese Weise entsteht ein Werbestream, der sich nahtlos in das TV-Bild einfügt.

»Die Technik ist inzwischen so ausgereift, dass auch wenn ein Sportler vor der Bande steht, keinerlei Säume, Farbverfälschungen oder Unschärfen entstehen«, sagt Ulrich Nütten, Leiter der Abteilung Media Engineering am Fraunhofer IAIS. ■

## Düngemittel reduzieren

Stickstoff-Dünger ist eine der Hauptquellen für Lachgas – ein Treibhausgas, 300-mal stärker als Kohlendioxid. Fraunhofer-Forschende haben ein präzises Messsystem entwickelt, mit dem sich auch sehr geringe Lachgas-Konzentrationen auf unterschiedlichen Böden exakt detektieren lassen. Das Ziel: Düngemittel in Zukunft gezielter und sparsamer ausbringen zu können.

Das innovative System für Feldmessungen von freigesetztem Lachgas des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM basiert auf einer abstimmbaren Laser-Absorptionsspektroskopie mit einem Quantenkaskadenlaser (QCL). Durch eine Langwegzelle mit 7,2 Metern optischem Weg wird eine hohe Empfindlichkeit erreicht. Die Auswertungssoftware ist speziell auf den geforderten Konzentrationsbereich und potenzielle Querempfindlichkeiten ausgelegt.



Werden Felder zu stark gedüngt, belastet das nicht nur Böden und Gewässer, sondern schadet auch dem Klima.

Zurzeit wird das System zu einem mobilen Messgerät weiterentwickelt, um es künftig mit anderen Sensoren auf einem Feldroboter einzusetzen. So kann eine wesentlich höhere Anzahl an Feldmessungen über eine Wachstumsperiode erfolgen. Die Daten lassen Rückschlüsse auf Dünger, Boden, Feuchtigkeit und weitere Parameter zu und ermöglichen eine effizientere Bodennutzung. ■

# Die Anlagenflüsterer

Produktionsausfälle vermeiden und Wartungsvorgänge optimieren – das macht ein mathematisches Modell der Experten vom Fraunhofer ITWM möglich.

Von Marina Bahl

**V**erschleiß und Verschmutzung gehören dazu, wo mit Produktionsanlagen und Maschinen gearbeitet wird – ebenso die Frage: besser präventiv warten oder einen Fehlerabbruch riskieren? Mit einem mathematischen Modell macht das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM diese Abwägung präziser und hilft, Kosten zu senken. »Condition Monitoring«, eine permanente Überwachung des Maschinenzustands, und »Predictive Maintenance«, eine Machine-Learning-basierte Prognose, unterfüttern die Entscheidung mit Daten. »Bei der riesigen Variabilität an Maschinen, Anlagen und Sensoren gibt es bisher kein Standardprodukt, das sich bequem auf jeden Fall anwenden ließe«, erklärt Dr. Benjamin Adrian, Projektleiter in der Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung«. »Was wir daher anbieten, sind Individuallösungen für spezifische Fragestellungen, die wir im Dialog mit unseren Kunden erarbeiten.«

In einem Projekt mit der Berger Holding GmbH & Co. KG, die im Bereich der Dreh- und Fräsbauteile aktiv ist, geht es um Kugelgewindetriebe. Diese sind typischerweise in Werkzeugmaschinen verbaut. Die Lebensdauer eines Kugelgewindetriebs ist im Schnitt auf 10 000 Betriebsstunden ausgelegt, kann davon aber je nach Belastungsintensität deutlich abweichen. Projektleiter Adrian: »Die Firma will im Leasing von Werkzeugmaschinen den durch die reale Nutzung entstandenen Verschleiß am Kugelgewindetrieb berechnen. Mithilfe dieser Analyse kann zum Beispiel der Anbieter von Werkzeugmaschinen nach Nutzungsintensität anstatt Nutzungsdauer abrechnen.«

**Auch wenn jedes Projekt andere Anforderungen stellt, ist das Vorgehen vergleichbar.** Wie viele Einzelschritte dabei benötigt werden, hängt von der jeweiligen Fragestellung ab. »Die Daten-Gießkanne als Prinzip funktioniert hier nicht. Stattdessen gehen wir fokussiert und hypothesenbasiert vor, stellen also Vermutungen an und überprüfen, ob sich diese durch die Daten stützen lassen«, so Adrian. Diese Daten werden von ihm und seinem Team gesichtet und weiterverarbeitet, bis sich ein inter-



Mit fundierten Prognosen können Service und Wartung der Anlagen bedarfsorientiert geplant werden.

pretierbarer Systemzustand ergibt, also alle Beteiligten genau verstehen, was die angezeigten Werte bedeuten.

Durch verschiedene Analysen wird ermittelt, welche Variablen für die Fragestellung von Bedeutung sind. Im nächsten Schritt kann dann ein Condition Monitor gebaut werden, der anhand der identifizierten Merkmale den Zustand der Anlage im aktuellen Betriebspunkt überwacht. So können kritische Ereignisse unmittelbar erkannt und Probleme behoben werden. »Unser großer Vorteil ist dabei, dass wir als mathematisches Institut ein sehr breites Wissen über die verschiedensten neuen und auch schon länger existierenden Verfahren mitbringen. Das hilft uns dabei, für jedes Projekt die bestmöglichen Auswertungsmethoden zu finden, sodass der Condition Monitor am Ende wirklich gut funktioniert«, fasst Adrian zusammen. In den laufend erhobenen Daten kann dann in einem weiteren Schritt nach Trends gesucht werden, um so Prognosen für den weiteren Betriebsverlauf abzuleiten. ■

**Ein Jahr Corona:**

# »Impfen ist gut, Kontaktverzicht bleibt 2021 wichtiger«

Über ein Jahr leben wir jetzt mit der Pandemie: ein Interview mit Prof. Anita Schöbel, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern, zu Prognosen und Daten.

Interview: Mandy Bartel

\_\_\_\_\_ **Prognosen sind bekanntlich schwer, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen. Welche Erfahrungen haben Sie gemacht?**

Mit unserem Vorhersage-Tool EpideMSE haben wir schon im April und Oktober 2020 erstaunlich gute Prognosen zum Verlauf der Epidemie und zur Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen treffen können. Wir haben dadurch auch schon sehr früh eine zweite Welle prognostiziert. Als im Oktober der Teillockdown beschlossen wurde, war ich sehr enttäuscht, denn unsere Berechnungen zeigten klar, dass wir mit einem harten, aber kurzen Lockdown erfolgreicher gewesen wären. Dieses mathe-

matische Modell entwickeln wir ständig weiter, momentan etwa mit Simulationen zu Impfquoten. Mit solchen Modellrechnungen unterstützen wir zum Beispiel die Stadt Kaiserslautern beim Krisenmanagement und liefern die wissenschaftliche Grundlage für politische Entscheidungen.

\_\_\_\_\_ **Was wissen Sie über das Jahr 2021?**

Impfen ist gut, aber Kontaktverzicht bleibt bis Sommer 2021 wichtiger. Die Impfungen werden bis dahin noch nicht einen so großen Einfluss auf das Infektionsgeschehen haben wie allgemein angenommen. Es gibt Modelle, um die Mindestanzahl der geimpften Personen zu errechnen, mit der wir wieder zur Normalität zurückzukehren könnten: in Deutschland derzeit 71,4 Prozent der Bevölkerung. Viel wirksamer werden deshalb die Kontaktbeschränkungen bleiben. Die werden uns noch länger begleiten. Die gute Nachricht ist: Die Sterblichkeit wird sinken, da wir jetzt vor allem die Risikogruppen impfen und diese damit weniger schwere Verläufe haben werden.

\_\_\_\_\_ **Verlässliche Prognosen brauchen vor allem belastbare Daten. Seit 2020 sind Sie Mitglied in der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur e.V. (NFDI): Was ist Ihr Ziel?**

Wir wollen wissenschaftliche Daten strukturieren und systematisieren, damit man sie sinnvoll nutzen kann. Uns leitet dabei das FAIR-Prinzip: Daten müssen »findable, accessible, interoperable und reusable« sein. Bisher liegen sie meist dezentral vor, auf ein Projekt bezogen, mit unspezifischen Metadaten oder temporär. Das Ziel ist eine Art digitaler Wissensspeicher mit einheitlichen Standards für Daten, Algorithmen und mathematische Modelle, um sie auch fächerübergreifend besser zu vernetzen. ■

»Unsere Berechnungen zeigten klar, dass wir mit einem harten, aber kurzen Lockdown erfolgreicher gewesen wären.«

Für ihre Maske hat sich Prof. Anita Schöbel ihre Formeln selbst ausgesucht. Sie entstammen verschiedenen Gebieten der angewandten Mathematik.



**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, Meike  
Grewe, Sirka Henning, Dr. Monika  
Offenberger, Andrea Pletz, Stefan  
Ruzas, Moritz Schmerbeck, Tim  
Schröder, Franziska Sell, Beate Strobel,  
Mehmet Toprak, Britta Widmann

**Grafische Konzeption:**

Sibylle Schmitt, Eric Schütz (2Issue)

**Layout + Litho:** Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie  
der Titelstrecke:**

Heinz Heiss

**Fotografin »Campus der Sinne«:**

Michela Morosini

**Druck:**

hofmann infocom GmbH, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2021

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



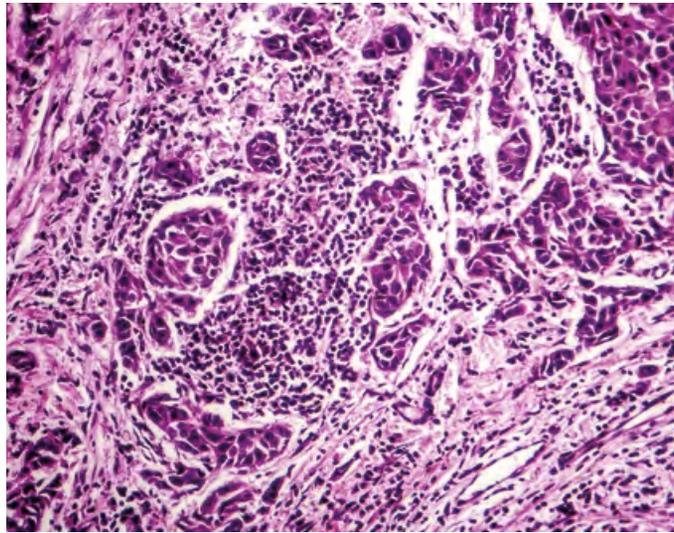
www.facebook.com/  
fraunhoferde



www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



Bisher müssen  
einzelne Zellen aus  
Gewebeproben von  
Hand und mithilfe  
von Enzymen  
herausgelöst  
werden, die Spuren  
auf der Zellober-  
fläche hinterlassen.

## Lebende Zellen müheless extrahieren

Mit dem TissueGrinder lassen sich automatisiert lebende Zellen aus einer Gewebeprobe herauslösen.

**D**ie Technik wurde am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA entwickelt. Eine Ausgründung hat jetzt das serienreife Produkt auf den Markt gebracht.

Eine optimale Therapie muss auf den einzelnen Patienten zugeschnitten sein, weil jeder Tumor anders ist. Doch um testen zu können, welches Chemotherapeutikum im Einzelfall das beste ist, braucht man lebende Zellen. Diese unbeschadet und möglichst unverändert aus einer Gewebeprobe zu isolieren, ist bisher kaum möglich. »Die Gewinnung von Einzelzellen aus Gewebeprobe ist nach wie vor einer der Flaschenhälse bei der personalisierten Tumorthherapie und Diagnostik«, sagt Jens Langejürgen, Leiter der Gruppe Biomedizinische Sensoren und Mikrosysteme am Fraunhofer IPA und einer der Mitbegründer des Start-ups Fast Forward Discoveries GmbH.

Der TissueGrinder extrahiert aus Gewebeprobe automatisiert, schnell und

enzymfrei lebende Zellen. Er funktioniert ähnlich wie eine Gewürzmühle: Dank speziell geformter Klingen, die über ein Mahlwerk in Rotation versetzt werden, zerkleinert er schonend das Gewebe, ohne Zellen zu zerstören oder zu verändern.

Die Miniatur-Mühle ist nicht größer als ein Schuhkarton und kann vier Gewebeprobe auf einmal bearbeiten. Ein Durchgang dauert weniger als fünf Minuten. Nach dem Mahlvorgang werden Gewebereste und Blut automatisch abfiltriert, die isolierten Zellen wandern in einen eigenen Behälter. Das Gerät wird über einen Touchscreen gesteuert, auf dem die Mitarbeitenden im Labor unter den Voreinstellungen für verschiedene Gewebeararten – beispielsweise Lymphknoten, Blasen-tumore, Melanome oder Knorpel – wählen können. Auf Knopfdruck liefert das Gerät dann lebende Zellen aus frischen Gewebeprobe oder extrahiert Zellen aus archivierten histologischen Schnitten. ■

**Titel**

# Im Klima- Stress

Hochwasser und Starkregen, Dürre  
und Stürme: Wie wir unsere Städte im  
Klimawandel resilienter machen.

Von Dr. Janine van Ackeren  
Fotografie: Heinz Heiss



Klimaproblem Überschwemmung:  
Sophie Mok vom Fraunhofer IAO weiß,  
dass es keine Patentlösungen gibt.  
Intelligentes Wassermanagement  
allerdings kann vielen Städten helfen.

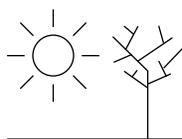
**E**xtremwetterlagen nehmen zu: Seit 1980 hat sich die Zahl der klimabezogenen Katastrophen mehr als verdreifacht. Das ist auch in Deutschland deutlich spürbar. Jetzt im Frühjahr, aber auch im Herbst lassen Starkregenereignisse Flüsse und Bäche häufig über die Ufer treten, überlasten die Kanalisation und setzen Keller unter Wasser. Im Sommer drohen Dürre und Wassermangel – mit Folgen für Landwirtschaft und Industrie.

Es ist an der Zeit, unsere Städte auf die Auswirkungen des Klimawandels vorzubereiten. Wie schnell und konsequent Lebensgewohnheiten geändert werden können, hat die Corona-Krise gezeigt. Dabei werden wir – so hart es auch klingen mag – mit jeder Krise besser darin, sie zu meistern. »Lassen Sie sich niemals eine gute Krise entgehen!«, formulierte es Winston Churchill. Die gute Nachricht: Die Maßnahmen, die unsere Städte resilienter gegen den Klimawandel machen, haben einen entscheidenden Vorteil – sie machen sie auch lebenswerter.

### Stark gegen Starkregen und Dürre

Wie das gehen kann, zeigen Resilienzforscherinnen und -forscher am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. »Fokussieren wir uns auf Dürre und Starkregenereignisse, so ist die grundlegende Frage: Wie gestalten wir den urbanen Wasserkreislauf?«, sagt Dr. Susanne Bieker, Leiterin des Querschnittsthemas »Transformations- und Innovationssysteme urbaner Räume« am Fraunhofer ISI. Bislang sind städtische Bereiche hochverdichtet, das Regenwasser kann auf Dächern, Straßen und Plätzen nicht versickern. Stattdessen fließt es größtenteils in die Kanalisation, die jedoch überwiegend auf Abwasser ausgelegt und bei Starkregen schnell überfordert ist. Das Ergebnis sind überschwemmte Straßen und überflutete Keller. Auch für Trockenperioden ist es ungünstig, das Regenwasser in die Kanalisation einzuleiten. In der Natur ist die Wasserbilanz ausgeglichen – im Wald versickern 50 Prozent des Regens, nur fünf Prozent des Wassers fließen ab. In einem Industriegebiet liegt der Versickerungsanteil lediglich

bei 20 Prozent, während 60 Prozent des Wassers in die Kanalisation fließen. Wird das Regenwasser jedoch dort gehalten, wo es fällt, kann es dort auch verdunsten und Kühlungseffekte entfalten. Machbar ist das etwa über Grünanlagen, begrünte Dächer oder Fassaden – man spricht dabei auch von grünen Infrastrukturen. Studien zufolge kann eine extensive Dachbegrünung – also Moose, Gräser und ähnliche



**Die Luft an der Erdoberfläche** hat sich gegenüber der vorindustriellen Zeit im globalen Mittel um rund **ein Grad Celsius** erwärmt. Ein solches Temperaturniveau gab es **noch nie im Laufe der menschlichen Zivilisation.**

Pflanzen – 30 bis 70 Prozent des jährlichen Niederschlags zurückhalten, intensive Dachbegrünung mit Bäumen, Sträuchern und Stauden sogar fast bis zu 100 Prozent. Sinnvoll sind zudem blaue Infrastrukturen: Teiche, Seen und Kanäle. Außerdem Einstauflächen, also beispielsweise große Wiesen, auf denen sich das Wasser nach einem starken Regenguss 20 bis 30 Zentimeter hoch sammeln kann. Und Zisternen: große unterirdische Wasserspeicher, die das Regenwasser für Trockenperioden speichern – und in trockenen Gebieten vielfach als Trinkwasserspeicher dienen.

Umgesetzt werden solche blau-grünen Strukturen unter anderem im Projekt »Leipziger BlauGrün«, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Am ehemaligen Eutritzscher Freiladebahnhof sollen in den nächsten Jahren 2100 neue Wohnungen, ein Schulcampus und Gewerbegebäude entstehen – samt begrünten Dächern, Grünflächen, Zisternen und Co. Kernstück ist die robuste und effiziente Steuerung der blau-grünen Technologien. »Unsere intelligente Steuerung kombiniert Daten wie Füllstände von Zisternen, die Wasserqualität oder auch Daten von Bodenfeuchtesensoren mit extern verfügbaren Daten wie der Wettervorhersage«, erläutert Dr. Marius Mohr, Innovationsfeldleiter für Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. Kündigt die Wettervorhersage Starkregen für die Region an, werden automatisch Wasserspeicher wie Zisternen entleert, um den neuen Regen aufnehmen zu können. Ebenso die Rigolen eines Retentions-Gründachs, das die Fraunhofer-Forscher derzeit mit der Firma OptiGrün in einem Pilotversuch auf einem Carport des Umweltforschungszentrums aufbauen: Auf diesem Dach können nicht nur Pflanzen wachsen, sondern in integrierten Rigolen auch Wasser zwischengespeichert werden. Seit März 2021 steuert die Software diese Dachrigolen, parallel dazu werden die Projektergebnisse in die Planungen am Eutritzscher Freiladebahnhof integriert.

### Naturnaher Wasserkreislauf für 16 000 Quadratmeter Neubauegebiet

Wie ein naturnaher Wasserkreislauf in städtischer Bebauung konkret aussehen kann, untersucht ein Forscherteam des Fraunhofer ISI im Projekt i.WET, kurz für Integriertes Wasser-Energie-Transitions-konzept. Es wird derzeit auf der Coers-Fläche im nordrhein-westfälischen Lünen umgesetzt, auf einem fast 16 000 Quadratmeter großen ehemaligen Gewerbegebiet, das nun mit sieben Wohnblöcken neu bebaut wird. Das Grauwasser aus Waschbecken, Badewannen und Duschen wird durch einen Wärme- ►



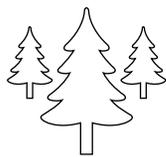
»Unser neu entwickeltes System lässt das Wasser nicht nur versickern, sondern speichert es überwiegend in unterirdischen Rigolen.«

Michael Würth, Projektleiter für Klimasimulation am Fraunhofer IBP

Michael Würth will Wasserspeicherung in den Straßenbau integrieren.

## »Wie gestalten wir den urbanen Wasserkreislauf?«

Dr. Susanne Bieker sucht am Fraunhofer ISI nach Antworten.



Im Wald versickern

# 50%

Prozent des Regens, nur **fünf** Prozent des Wassers fließen ab.

tauscher geschickt, um die Wärme für andere Anwendungen zurückzugewinnen, dann gemeinsam mit dem Regenwasser in einem Vorratsbehälter gesammelt und für die Toilettenspülung genutzt – auf diese Weise lässt sich vor allem in Dürreperioden wertvolles Wasser sparen. Weiteres Regenwasser wird in drei Zisternen gespeichert und zur Bewässerung der Grünanlagen verwendet. Fällt darüber hinaus Grau- und Regenwasser an, läuft dieses in das Kernstück des naturnahen Wasserkreislaufs: einer bepflanzten »Grünen Allee«, die der Wasserreinigung und -retention dient. Hier sickert es zunächst durch einen grün bepflanzten Bodenfilter, genauer gesagt eine Reinigungsschicht mit Sand besonderer Körnung. Unter dieser Bodenschicht befindet sich ein Kanal, der das Wasser in einen offenen Graben und von dort aus weiter in einen kleinen Fluss abführt. »Auf diese Weise können wir das Regenwasser selbst bei Starkregen vollkommen von der Kanalisation trennen und diese somit entlasten«, sagt Dr. Thomas Hillenbrand, Leiter des Geschäftsfelds Wasserwirtschaft. Die Begrünung der Energieallee sorgt dazu für angenehme Kühle im Sommer und wertet das Umfeld auf.

### Wohin führt die Straße der Zukunft?

Die Optimierung des Wasserkreislaufs ist auch ein Schwerpunkt im Projekt »Straße der Zukunft« des Fraunhofer IGB und des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. In einem der beiden zugehörigen Reallabore in Ludwigsburg haben Mohr und sein Team unter der Straße eine Zisterne gebaut und in Betrieb genommen – in dieser sammelt sich das Regenwasser, das von Dächern und Autos tropft.

Ein weiterer Ansatzpunkt, um Starkregenereignissen und Dürren etwas entgegenzusetzen, liegt in den Bodenbelägen. Statt Straßen, Radwege und Bürgersteige mit Asphalt oder Pflastersteinen zu versiegeln, experimentieren Expertenteams am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP im Projekt »Bauphysik urbaner Oberflächen« mit einer hydroaktiven Verkehrsflächengestaltung. »Unser ►



Dr. Susanne Bieker, Leiterin des Querschnittsthemas  
»Transformations- und Innovationssysteme urbaner  
Räume« am Fraunhofer ISI.



neu entwickeltes System lässt das Wasser nicht nur versickern, sondern speichert es überwiegend in unterirdischen Rigolen – Hohlraumstrukturen im Boden, die wasserdicht umschlossen sind«, erläutert Michael Würth, Projektleiter für Klimasimulation. Bei Regen laufen diese Puffer voll und wirken somit Überschwemmungen entgegen, ebenso wie einer eventuell folgenden Trockenheit. Denn dochtartige Elemente, die in den Rigolen integriert sind, transportieren das gespeicherte Wasser im Laufe der folgenden Wochen wieder an die Oberfläche und geben es dort via Verdunstung mit gleichzeitig kühlender Wirkung an die Umwelt ab. Im Gegensatz zu handelsüblichen Rigolen, die zu kubischen unterirdischen Wasserspeichern von mehreren tausend Litern Speichervolumen zusammenschaltet werden und daher eine große Grube benötigen, lässt sich das neuartige, flächige System ohne nennenswerte Mehrarbeit in den Straßenbau integrieren. »Wir ersetzen einfach eine oder mehrere der nötigen Unterbauschichten durch unser flächiges Rigolensystem«, konkretisiert Würth. Bis zu 200 Liter Wasser pro Quadratmeter sollen die Systeme aufnehmen können, so die Planung der Forscher. Derzeit sind sie in der Erprobungsphase.

### Hitzeinseln kühlen

2020 war bisher das heißeste Jahr in Europa. Problematisch sind vor allem in den Städten sogenannte Hitzeinseln: Durch wärmespeichernde Baumaterialien, dunkle Fassaden und Dachflächen sowie versiegelte Flächen ist eine Aufheizung um bis zu zehn Grad Celsius möglich. »Während eine bordeauxrote Fassade unter der Sonneneinstrahlung 80 Grad Celsius heiß werden kann, heizt sich eine gelbe Fassade nur auf etwa 65 Grad Celsius auf«, weiß Dr. Susanne Bieker vom Fraunhofer ISI. »Es gibt mittlerweile Fassadenfarben mit speziellen Zusätzen, die die Wärmestrahlung stärker reflektieren und dafür sorgen, dass sich die Gebäude im Sommer nicht allzu sehr aufheizen. Und eine neuartige Farbe mit Beimischung von Calciumcarbonat verspricht sogar Kühlung.« Generell gleichen die Ansätze, um Hitzeinseln auszumerzen, denen gegen Dürre und Starkregen: Blaue Infrastrukturen wie Seen

oder Springbrunnen steigern die Verdunstung und kühlen die Umgebung. Grüne Infrastrukturen senken die Temperatur ebenfalls. Alleebäume und Bäume an Straßen können die empfundene Temperatur um bis zu 15 Grad Celsius drücken. Selbst im Haus macht sich der kühlende Effekt begrünter Fassaden und Dächer bemerkbar:



Die Zahl der Tage,  
an denen die  
Temperatur  
**unter 0 Grad Celsius**  
blieb, nahm seit den  
1950er-Jahren  
in Deutschland  
**von 28 auf 19 Tage**  
pro Jahr ab.

So senkt eine bodengebundene begrünte Fassade die Oberflächentemperatur der Innenwände um bis zu 1,7 Grad Celsius.

### Grüne Dächer, grüne Fassaden – und ein Roboter pflegt die Flächen

Wie sich grüne Außenwände auf das Stadtklima auswirken, hat Dr. Afshin Afshari am Beispiel von Abu Dhabi in einer modellbasierten Analyse untersucht. Der Forscher baut derzeit am Fraunhofer IBP die Arbeitsgruppe »Stadtbauphysikalische Modellierung« auf. »Die Studie in Abu Dhabi zeigte: Würde man nahezu alle Fassaden mit mittelmäßig belaubten Pflanzen begrünen, so würde die Temperaturerhöhung in der Stadt um 25 Prozent sinken. Bei Pflanzen mit höherer Blattdichte könnte man den Hitzeinseleffekt sogar nahezu halbieren«, sagt Afshari. Derzeit erstellt der Forscher eine ähnliche Studie für Berlin: Hier geht es um die Auswirkung begrünter

Dächer. »In Berlin wird die Wirkung wahrscheinlich geringer ausfallen, da es dort bereits viel Grün gibt«, vermutet Afshari. Grüne Fassaden brauchen jedoch aufwendige Pflege, üblicherweise sind dafür Gerüste, Hebebühnen oder Industriekletterer erforderlich. Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA haben in ihrer Machbarkeitsstudie »Green Wall Robot« eine einfachere Methode ersonnen. »Auf einem schienenbasierten Fassadensystem bewegt sich vollautomatisch ein Roboter und übernimmt alle Pflanz-, Pflege- und Wartungsarbeiten – vom Schnitt der Pflanzen bis hin zum Austausch einzelner Pflanzmodule«, erklärt Kevin Bregler vom Fraunhofer IPA.

Urbanes Grün ist also einer der Hauptansatzpunkte, um Städte gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu schützen. Was genau naturnahe Lösungen leisten können, untersucht ein Konsortium mit zehn Städten im EU-Projekt »Urban Nature Labs«. Beteiligt ist auch das Fraunhofer IAO. »In drei Städten konnten bereits einige Maßnahmen umgesetzt werden: im niederländischen Eindhoven, im finnischen Tampere und im italienischen Genua«, erklärt Sophie Mok, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IAO. In Eindhoven sind die Maßnahmen über die gesamte Stadt verteilt: Straßen und Plätze wurden begrünt und mit unterirdischen Wasserspeichern versehen, überbaute Flüsse »befreit« und renaturiert. In Tampere wurden zwei Distrikte begrünt, unter anderem ein altes Industriegebiet, in dem die Pflanzen als Biofilter eingesetzt werden, um Schadstoffe aufzunehmen und dadurch Wasser und Böden zu reinigen. Zudem wurden Gründächer mit intensiver Nutzung und urbane Gärten angelegt. Und in Genua wurde ein altes Militärgelände neu gestaltet, hier lag der Fokus auf Entwässerung, Hochwasservorsorge und Begrünung.

### Erfolge nur, wenn alle Akteure sich beteiligen

Das Fraunhofer IAO untersucht dabei: Wie kann der Transfer der Maßnahmen in andere Städte gelingen? »Eine One-size-fits-all-Lösung gibt es nicht. Unsere Erfahrungen zeigen: Es ist wichtig, alle Akteure

zusammenzubringen und gemeinsame, lokal angepasste und wissensbasierte Lösungen zu erarbeiten«, sagt Mok. Dazu haben die Fraunhofer-Experten Leitfäden für städtische Governance-Ansätze und alternative Finanzierungsoptionen erstellt sowie gemeinsam mit fünf weiteren Städten eine individuelle Roadmap für mehr Klimaresilienz entwickelt.

Wo soll es hingehen hinsichtlich der Klimaresilienz bis 2050? Wo stehen die Städte jetzt – und welche naturbasierten Lösungen würden helfen, die gesteckten Ziele zu erreichen? »Eine Stadt in Finnland hat natürlich andere Herausforderungen als eine Stadt in Spanien«, erläutert Mok. »Wir haben also unterschiedliche Problemstellungen, auch die Visionen unterscheiden sich. Was jedoch in den meisten Städten wichtige Herausforderungen sind, ist das Wassermanagement, sind urbane Hitzeinseln und die Biodiversität.« In einem weiteren Schritt wollen die Forscherinnen und Forscher ihre Ergebnisse in einer Online-Datenbank zusammenstellen, die Städten und Kommunen gezielt Wissen rund um naturbasierte Lösungen und urbanes Grün zur Verfügung stellt.

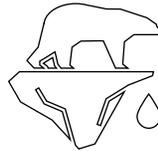
### Wie entwickelt sich das Klima in den Räumen bis 2100?

Möchte man Hitzestress für die Bewohner von Städten vermeiden, genügt es nicht, Straßenzüge und Plätze mit urbanem Grün angenehmer zu temperieren. Vielmehr gehört auch das Innenraumklima in den Gebäuden dazu. Eine solide Grundlage, um dieses zu bewerten, lieferte das EU-Projekt »Climate for Culture«, an dem ein multidisziplinär zusammengesetztes Team mit 27 Partnern aus Europa und Ägypten beteiligt war und das vom Fraunhofer IBP koordiniert wurde.

»Wir haben das hygrothermische Gebäudesimulationsmodell WUFI®Plus mit Klimamodellen gekoppelt«, konkretisiert Dr. Johanna Leissner, Repräsentantin der Fraunhofer-Gesellschaft im Forschungskonsortium. »Auf diese Weise können wir das Innenraumklima von Gebäuden bis zum Jahr 2100 simulieren und analysieren, wie sich der Klimawandel, aber auch bauliche Maßnahmen wie neue Fenster, Türen oder eine Abschattung auf das In-

nenraumklima auswirken und welcher zukünftige Energiebedarf für die Klimatisierung der Gebäude dadurch entsteht.«

Eine solche Kopplung von Klimamodellen mit Gebäudesimulationen ist bisher weltweit einmalig – und erforderte viel Forschungsarbeit. So mussten die Forscherinnen und Forscher zunächst einmal die



### Der Forschungsstand zum Klimawandel in 20 Worten:

1. Er ist real.
2. Wir sind die Ursache.
3. Er ist gefährlich.
4. Die Fachleute sind sich einig.
5. Wir können noch etwas tun.

Klima wissen, Sept. 2020, hrsg. vom Deutschen Klima Konsortium

Parameter festlegen, welche für die Gebäudesimulation gebraucht werden, und diese dann aus den Klimamodellen herausrechnen. Dazu galt es, die Klimaparameter mit einer Auflösung von zehn mal zehn Kilometern über ganz Europa bis zum Jahr 2100 zu berechnen, und zwar für zwei verschiedene Szenarien, da die tatsächliche zukünftige Emission von Klimagasen nur abgeschätzt werden kann.

»Es war ein riesiges Datenvolumen, das wir hier verarbeiten mussten, bevor wir es in die Gebäudesimulation einspeisen konn-

ten«, erinnert sich Leissner. Diese ermittelten Parameter validierte das Forscherteam mit Klimadaten der Vergangenheit. Im Fokus des Projekts standen zwar historische Gebäude und Kulturerbe, doch eignet sich die Simulation für Gebäude aller Art.

### Orkanböen und Starkwind

Weniger aufsehenerregend als Dürre, Starkregen und steigende Temperaturen sind Orkanböen und starker Wind – ebenfalls relevante Auswirkungen des Klimawandels. Hier gilt es, Windschneisen gezielt zu durchbrechen, ohne die positiven Auswirkungen der Durchlüftung zur Abkühlung während der Sommermonate zu mindern. »Wie der Wind sich seinen Weg durch Städte sucht, ist neben der Topographie vor allem durch die menschengemachten Hindernisse vorgegeben – sprich durch die Gebäude«, sagt Matthias Winkler vom Fraunhofer IBP. »Wir haben also nur wenige Möglichkeiten, Windschneisen abzumildern, da wir die bestehende Baustruktur ja nicht großflächig ändern können.« Eine dieser wenigen Möglichkeiten liegt darin, Baulücken nicht abschließend mit anderen Häusern zu bebauen, sondern das neue Gebäude etwas versetzt hochzuziehen. Eine weitere sind Bäume, Sträucher oder Kunstwerke, die am Anfang einer Windschneise stehen und die ungehinderte Windpassage durchbrechen.

In welchen Straßenzügen einer Stadt der Wind besonders stark pfeift und wie sich solche Maßnahmen konkret auf besonders windige Ecken bestimmter Städte auswirken, lässt sich mit dem Stadtklimamodell PALM-4U analysieren. Das Modell wird im Projekt »Stadtklima im Wandel« von einem Forschungskonsortium entwickelt, dem auch das Fraunhofer IBP angehört. »Über PALM-4U können wir sowohl Temperaturverläufe bis auf Gebäudeebene räumlich darstellen als auch Windschneisen simulieren«, erläutert Winkler.

Die Stadt Berlin wurde bereits simuliert: Mit dem Modell können künftig Wind-Hotspots aufgedeckt und Lösungsansätze auf ihre Wirkung untersucht werden. Bringen sie den erhofften Effekt? Für die Stadt Stuttgart erstellen die Forscher derzeit ebenfalls ein Modell, Ende 2021 soll es fertig sein. ►



Wasser auffangen? Dr. Marius  
Mohr vom Fraunhofer IGB  
plädiert für eine »robuste  
und effiziente Steuerung der  
blau-grünen Technologien«.



Im Teilprojekt ProPolis wollen die Fraunhofer-Forscher das Stadtklimamodel in die Praxis bringen und es entsprechend den Bedürfnissen von Kommunen und anderen Anwendern weiterentwickeln. Dazu gehören unter anderem eine graphische Benutzeroberfläche und Schulungskonzepte. Denn: Je praxistauglicher und leichter zu bedienen, desto mehr Kommunen, Städte und Gemeinden werden es vermutlich nutzen. Im Projekt UCare4Citizen bereiten die Forscher die Simulationsergebnisse so auf, dass die komplexen Informationen via Augmented-Reality-Brille erfahrbar werden. Im Projekt KERES untersuchen die Forscher unter anderem die Auswirkungen von extremen Stürmen auf Kulturgüter und betrachten dabei sowohl historische Gebäude als auch Gartenanlagen.

### Technologien an sich? Nicht das Problem!

Eine Herausforderung, die sich wie ein roter Faden durch einen Großteil der Projekte zur Anpassung an den Klimawandel zieht: Die Technologien sind größtenteils vorhanden. »Die Schwierigkeit liegt vielmehr in der Umsetzung«, sagt Dr. Susanne Bieker vom Fraunhofer ISI. Oft käme das Argument, die Maßnahmen seien zu teuer. Diesen Einwand lässt Bieker jedoch nicht gelten: »Es gibt zahlreiche Fördermittel. So übernimmt die Zukunftsinitiative ›Wasser in der Stadt von morgen‹ teilweise bis zu 100 Prozent der Kosten. Auch bieten viele Städte ein ›Grüne-Dächer-Programm‹. Gewohnheit kombiniert mit Unwissen und Legendenbildung verhindern häufig, dass das Geld auf die Straße gebracht wird«, weiß Bieker. Eine solche Legende lautet: Photovoltaik und Gründächer lassen sich nicht kombinieren. Völliger Blödsinn, meint Bieker. Es stimmt sogar das genaue Gegenteil: Die grünen Dächer kühlen die Photovoltaik-elemente von unten und steigern ihre Leistung damit um vier bis fünf Prozent.

Ein wichtiger Hebel in puncto klimaresiliente Stadtplanung ist daher, den Entscheidungsträgern die Schwellenangst zu nehmen, mehr Wissen rund um die einzelnen Maßnahmen zu vermitteln und die Vielzahl an möglichen Maßnahmen ►

»Die Lösungen greifen ineinander, denn speichert man einen Teil des Wassers während des Monsuns, so steht dieses in Trockenzeiten zur Verfügung.«

Dr. Marius Mohr, Innovationsfeldleiter für Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung am Fraunhofer IGB

**Der Anteil** der  
Hurricanes der  
stärksten Kategorien  
3, 4 und 5  
**stieg**

von 1979 bis 2017  
**um rund ein Viertel,  
von 32 Prozent  
auf 40 Prozent.**



zu entwirren. Dieses Ziel verfolgten Forscherinnen und Forscher vom Fraunhofer ISI in einer Machbarkeitsstudie in Bochum. Das Team ist dabei auf eine große Wohnungsbaugesellschaft zugegangen, der verschiedene Quartiere gehören. »Wenn wir verstehen, was dort genau gebraucht wird, haben wir ganz andere Möglichkeiten für einen Scale-up als über Privatleute«, sagt Bieker.

Im Mittelpunkt stand ein Quartier, das bereits mit etwa 50 Gebäuden bebaut ist, nun allerdings – wie viele Quartiere im Ruhrgebiet – nachverdichtet werden soll. Sprich: In großen Gärten oder in Baulücken sollen neue Häuser entstehen und bestehende Gebäude aufgestockt werden. Dabei fallen jedoch zum Teil Freiflächen weg, es gilt daher, den Wasserkreislauf im Blick zu behalten. In der Machbarkeitsstudie untersuchte das Forscherteam, unter welchen Rahmenbedingungen sich welche Maßnahmen im Zuge von Nachverdichtungsmaßnahmen anbieten.

### **200 Quadratmeter grünes Dach können 500 Euro sparen**

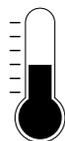
Um den Partnern eine Möglichkeit zu geben, die damit einhergehenden Kosten besser einschätzen zu können, haben die Forscher durchgerechnet. »Unsere Beispielrechnung ergab: Alleine durch eine 200 Quadratmeter große Dachbegrünung lassen sich in Bochum 450 bis 500 Euro pro Jahr sparen«, sagt Bieker. »Dazu kommen nicht näher bezifferte Vorteile wie ein höherer Witterungsschutz für die Fassade und eine Kühlung für Umfeld und Innenräume.«

Was sich im Projekt herauskristallisierte: Es gibt große Synergien zwischen Wohnungswirtschaft und Kommunen, die Interessen sind in vielen Punkten deutlich ähnlicher als erwartet. So bot die Kommune an, überschüssiges Regenwasser aus dem Quartier einem verrohrten Bach zuzuleiten – der dann wiederum genügend Wasser führen sollte, um ihn freilegen zu können. »Es bringt also oft sehr viel, die Beteiligten an einen Tisch zu holen«, fasst Bieker zusammen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Forscherinnen und Forscher im Projekt SMARTilience – an dem unter anderem

die Universität Stuttgart beteiligt ist, die eng mit dem Fraunhofer IOA zusammenarbeitet. Involviert sind zudem Drees & Sommer, malik, die HafenCity Universität Hamburg sowie die Städte Mannheim und Halle an der Saale.

»Wir entwickeln ein Steuerungsmodell, das sämtliche Prozessschritte der Planung, Umsetzung und Bewertung umfasst und kommunale Entscheidungsträger beim



Das Tempo des **Temperaturanstiegs** hat in Deutschland, wie auch weltweit, in den vergangenen 50 Jahren deutlich zugenommen: **Neun der zehn wärmsten Jahre seit 1881 sind nach dem Jahr 2000 aufgetreten.**

vorausschauenden, effizienten Klimahandeln unterstützt«, sagt Rebecca Nell vom Fraunhofer IOA. »Dieses enthält unter anderem Steckbriefe von möglichen Maßnahmen wie Dachbegrünung, Links, Kontaktdaten von Ansprechpartnern und Verweise auf ähnliche Projekte – und hilft so dabei, die nötigen städtischen Mitarbeiter ins Boot zu holen.«

Auch ein Peer-to-Peer-Prozess wurde angestoßen, in dem sich die Kommunen austauschen können. Im Projekt »Zukunftstadt Konstanz« arbeitet das Fraunhofer

IAO gemeinsam mit der Stadt Konstanz sowie lokalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft daran, ein Quartier für die Zukunft zu entwickeln. Nach der Devise QUALITÄT STATT QUADRATMETER entsteht neue Lebensqualität aus dem Zusammenspiel von Wohnraum, Sharing, Mobilität, Begrünung, Energie und Digitalisierung.

### **Klimawandelanpassung – eine weltweite Frage**

Natürlich sind die Auswirkungen des Klimawandels nicht auf Europa begrenzt – ebenso wenig wie die Fraunhofer-Ansätze, dem Klimawandel etwas entgegenzusetzen. Stark durch den Klimawandel betroffen sind beispielsweise die Städte Kochi in Indien und Saltillo in Mexiko. Im Projekt »Morgenstadt Global Smart Cities Initiative« ersinnen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IAO, des Fraunhofer IGB, des Fraunhofer ISI und des Fraunhofer IBP daher konkrete Handlungsmöglichkeiten. Finanziert wird das Projekt von der Internationalen Klimaschutzinitiative IKI des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit BMU. »Wir nutzen unsere Erfahrung des Morgenstadt-Netzwerks mit 40 Partnern aus Wirtschaft, Forschung und Kommunen sowie die Morgenstadt-Tools«, sagt Dr. Markus Schwegler. Dazu gehören drei wesentliche Schritte: Im ersten werden die Zusammenhänge in der Stadt analysiert. Welche Probleme bestehen? Im zweiten Schritt sprechen die Forscher von Co-Creation – sie tüfteln gemeinsam mit allen Partnern und Assoziierten die ersten Projektideen aus und priorisieren die Ideen. Und im dritten Schritt steht die Umsetzung an.

Im 600 000 Einwohner großen Kochi, einem der wichtigsten Häfen an der Westküste Indiens, herrschen vor allem Wasserprobleme vor. »Während der letzten Monsune gab es jeweils heftige Überflutungen, die viele Todesopfer forderten und das öffentliche Leben lahmlegten, so musste etwa der Flughafen geschlossen werden«, erläutert Dr. Marius Mohr vom Fraunhofer IGB. Die restlichen Monate dagegen sind von Wassermangel geprägt. »Die Lösungen für beide Probleme greifen ineinander«, sagt Mohr. »Denn speichert man einen Teil

des Wassers während des Monsuns, so steht dieses in Trockenzeiten zur Verfügung. «Dachgärten scheinen für Kochi eine gute Lösung zu sein. Um die Wassermassen abführen zu können, bieten sich außerdem offene Kanäle an, die zu Zeiten der Kolonialisierung angelegt wurden und heute mit Müll verstopft sind. »Wir wollen die Ansätze an einem kleinen Quartier durchexerzieren – und hoffen, dass die Stadt die Ideen aufgreift und auch in anderen Quartieren durchführt«, sagt Mohr.

Schwenk nach Saltillo, Mexiko – dem zweiten City-Lab. Die wohlhabende Stadt ist von der Autoindustrie geprägt und, da in der Wüste von Coahuila gelegen, per se sehr trocken. Durch den Klimawandel jedoch wird die Wasserknappheit drastisch verstärkt, Wassereffizienz ist daher ins-

besondere bei der Industrie ein großes Thema. Welche Projekte konkret durchgeführt werden sollen, entscheiden die Forscher mit Partnern und Assoziierten gemeinsam im Sommer 2021. »Oft hören Forschungsprojekte mit der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Auftraggeber auf. Ich finde es toll, dass wir im Kontext der City-Labs konkrete Lösungsansätze in Form von Pilotprojekten implementieren können«, begeistert sich Jose Antonio Ordonez, Wissenschaftler am Fraunhofer ISI und Projektleiter. »Wir können dann sehen, ob der Ansatz die gewünschten Erfolge bringt, seine Kinderkrankheiten ausmerzen und ihn anschließend replizieren oder hochskalieren.« Und so dem Klimawandel in den Städten weltweit Schritt für Schritt besser begegnen. ■

»Es ist wichtig, alle Akteure zusammenzubringen und gemeinsame, lokal angepasste und wissensbasierte Lösungen zu erarbeiten.«

Sophie Mok, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IAO

Fotograf Heinz Heiss reiste für die Bilder in diesem Fraunhofer-Magazin mit eigens angefertigten Fototapeten zu den Forscherinnen und Forschern. Um das Licht zu justieren, griff der preisgekrönte Reportage-Fotograf auch selbst zum Regenschirm.



## Interview

# »Schmidt. Schröder. Scholz.«

Er ist der Erste, der sich als Kandidat mit dem Willen zur Macht bekannt hat. Olaf Scholz will Bundeskanzler werden. Der Finanzminister und Vizekanzler verspricht, für Forschung und Wissenschaft ein Ansprechpartner zu sein, der sich wirklich interessiert.

Interview: Josef Oskar Seitz

Olaf Scholz, 62, verortet sich in einer Reihe erfolgreicher SPD-Kanzlerkandidaten.

\_\_\_\_\_ **Schmidt. Scharping. Schröder. Steinmeier. Steinbrück. Schulz. Jetzt also heißt der Kanzlerkandidat Scholz: Wofür noch mal steht das »S« in SPD?**

**Scholz:** Für eine sozialdemokratische Politik, die von Respekt geprägt ist, die einen klaren Zukunftsplan für die 20er-Jahre hat und die für ein starkes und souveränes Europa eintritt. Als SPD kämpfen wir für ein starkes Ergebnis, mit dem ich Kanzler werden kann. Also, wenn Sie so wollen: Schmidt. Schröder. Scholz.

\_\_\_\_\_ **Corona hat unsere Leben, vielleicht auch unsere Gesellschaft verändert. Ist Solidarität mehr als nur eine nostalgische Erinnerung für sozialdemokratische Romantiker?**

Die Pandemie zeigt, wie wichtig gegenseitiger Respekt und ein starker gesellschaftlicher Zusammenhalt sind. Diese historische Herausforderung werden wir nur erfolgreich bewältigen, wenn wir füreinander da sind und einander stützen und unterstützen. Es ist gelebte Solidarität, wenn wir auf soziale Kontakte verzichten, das öffentliche und wirtschaftliche Leben einschränken, um Leben und Gesundheit zu schützen. Zur Solidarität gehört auch, dass wir als Staat Beschäftigten und Unternehmen in dieser schweren Zeit mit milliarden-schweren Hilfen unter die Arme greifen, damit alle möglichst gut durch die Krise kommen.

\_\_\_\_\_ **In der Pandemie hat sich Indonesien entschieden, zunächst die Jüngeren zu impfen: Leistungsträger first. Verschenkt das wirtschaftlich starke Deutschland wesentliche Wettbewerbsvorteile, wenn zuerst die Älteren geschützt werden – und dann auch noch im europäischen Verbund die Impfstoffe gleich verteilt werden sollen?**

Ich bin froh, dass es in Deutschland einen breiten Konsens für die Entscheidung der Ständigen Impfkommission gibt, zuerst diejenigen zu impfen, die am stärksten gefährdet sind: die Hochbetagten. Und diejenigen, die aufgrund ihrer Arbeit in Krankenhäusern und Pflegeheimen einem sehr hohen Ansteckungsrisiko ausgesetzt sind. Es besteht eine Schutzpflicht gegenüber den Schwächsten der Gesellschaft. Und ich finde es völlig richtig, dass die EU den Impfstoff zentral beschafft hat. Ich kritisiere, dass das zügiger und besser hätte organisiert werden müssen. Der Weg aus dieser Pandemie führt nur über das Impfen – und ich verstehe die wachsende Ungeduld, die wir alle verspüren. Jetzt gilt es, möglichst rasch möglichst viel Impfstoff zu organisieren, viel zu testen und zügig zu impfen.

\_\_\_\_\_ **Was sind die Schwächen, die Corona in unserer Wirtschaft offengelegt hat?**

»Ich will unsere öffentlichen Forschungseinrichtungen, zu denen die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft zählen, darin unterstützen, ihre Ideen und Innovationen auf den Markt zu bringen.«

Erst einmal hat sich gezeigt, wie robust unsere Wirtschaft insgesamt ist, trotz der Pandemie. Die wirtschaftliche Entwicklung im vergangenen Jahr ist weniger schlecht ausgefallen als befürchtet, auch aufgrund der entschlossenen finanziellen Schritte, die wir sehr frühzeitig gegangen sind. Mit einem starken Rettungspaket und einem umfassenden Konjunkturprogramm haben wir gegengehalten. Und auch Europa hat eine kraftvolle gemeinsame Antwort auf die Krise gefunden.

\_\_\_\_\_ **Ein Impfstoff ist in Deutschland erdacht und in Rekordzeit entwickelt worden. Auf welche Stärken kann unser Land setzen – was macht Ihnen Hoffnung für die Zukunft?**

Unser Land ist stark, solidarisch und hat viele tüchtige und kluge Köpfe. Die Entwicklung des Corona-Impfstoffs ist ein großartiges Beispiel dafür. Wir haben eine sehr gute industrielle Basis, wettbewerbsfähige Unternehmen, gut ausgebildete Beschäftigte, eine breite, hervorragende Forschungslandschaft und einen verlässlichen Sozialstaat. All das sind sehr gute Voraussetzungen, um die Aufgaben unserer Zeit, den Klimawandel und die Digitalisierung, erfolgreich zu bewältigen. Was wir jetzt brauchen, sind ein klarer Plan, mutige Entscheidungen und entschlossenes Handeln.

\_\_\_\_\_ **Was können Forschung und Wissenschaft von einem Kanzler Scholz erwarten?**

Exzellente Wissenschaft und Forschung sind ▶

entscheidende Grundlagen unseres Wohlstands. Wir wollen den Wandel zu einer klimaneutralen Gesellschaft und die digitale Transformation erfolgreich gestalten. Dazu brauchen wir bahnbrechende Innovationen. Die Politik muss für gute Forschungsbedingungen, ausreichend Freiräume und eine verlässliche finanzielle Förderung sorgen. Das Beispiel Biontech zeigt, dass eine gezielte und nachhaltige Förderung von Innovationen erfolgreich ist. Ich will unsere öffentlichen Forschungseinrichtungen, zu denen die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft zählen, darin unterstützen, ihre Ideen und Innovationen auf den Markt zu bringen. Und im Bundeskanzler Olaf Scholz werden Forschung und Wissenschaft stets einen Ansprechpartner haben, der sich für sie und ihre Belange wirklich interessiert.

\_\_\_\_\_ **Bis zum Jahr 2025 will Deutschland 3,5 Prozent des Bruttoinlandsprodukts für Forschung und Entwicklung ausgeben. Ist das für einen Finanzminister in der Krise zu viel und für einen Kandidaten zur Kanzlerschaft der Zukunft zu wenig?**

Als Finanzminister bin ich fest überzeugt, dass sich solche Investitionen in unsere Zukunft doppelt auszahlen werden. Als Kanzler werde ich meinen Ehrgeiz daransetzen, dieses Niveau weiter zu erhöhen. Mehr als 60 Milliarden Euro des Konjunkturprogramms, das wir im vergangenen Sommer aufgelegt haben, gehen in Bildung, Forschung und Innovation. Auch damit werden wir einen kräftigen Innovationsschub für Deutschland auslösen.

\_\_\_\_\_ **China steckt zehn Milliarden Dollar in sein Quantenforschungszentrum. Das Quantencomputing-Programm der USA umfasst 1,2 Milliarden Dollar für fünf Jahre. Die EU will eine Milliarde Euro in zehn Jahren für ihre Quantum-Flagship-Initiative aufbringen. Gerade hat der IBM-Quantencomputer auf deutschem Boden den Betrieb aufgenommen. Riskieren wir trotzdem, eine entscheidende Zukunftstechnologie nicht mit dem nötigen Nachdruck voranzutreiben?**

Die Quantentechnologie ist der nächste große Technologiesprung. Es ist wichtig, dass Deutschland und Europa hier vorne dabei sind. Der Fraunhofer-Gesellschaft kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Der Bund fördert die Entwicklung und Produktion von Quantentechnologien. Mit zusätzlichen zwei Milliarden Euro aus dem Konjunkturprogramm unterstützen wir unter anderem den Bau von mindestens zwei Quantencomputern.

\_\_\_\_\_ **Woher wird der Staat sich die 180 Milliarden neue Schulden zurückholen, die allein fürs Wahljahr 2021 geplant sind?**



Schwierige Rolle: Als Vizekanzler verantwortet Olaf Scholz die Politik der Großen Koalition mit – als Kanzlerkandidat muss er gegen die Union Profil gewinnen.

Unsere Haushaltspolitik der vergangenen Jahre hat dazu geführt, dass wir über die nötige Finanzkraft verfügen, diese schwere Krise zu meistern. Deutschland wird danach eine geringere Schuldenquote in Bezug zur Wirtschaftsleistung haben als alle anderen G7-Staaten vor der Pandemie. Und wir werden mit Wirtschaftswachstum aus den Schulden wachsen, genauso wie das nach der Finanzkrise 2009 gelungen ist.

\_\_\_\_\_ **Klimafragen sind gerade etwas in den Hintergrund gerückt, doch das Problem bleibt. Worauf setzen Sie mehr: klassische Elektromobilität oder Wasserstoff?**

Wir sollten das eine tun, ohne das andere zu lassen. Der Kampf gegen den menschengemachten Klimawandel zählt für mich zu den drängendsten Fragen unserer Zeit und ist auch in der Pandemie immer präsent. Das Konjunkturprogramm vom Sommer vergangenen Jahres hat sehr gezielt auch den Kampf gegen den Klimawandel adressiert, nachdem wir 2019 das ambitionierteste Klimaschutzpaket geschnürt hatten, das es hierzulande je gegeben hat. Wichtig ist mir: In den nächsten Jahren stehen zentrale Weichenstellungen an, damit Deutschland wie geplant bis spätestens 2050 klimaneutral wirtschaften kann und dann weiterhin über gute Arbeitsplätze, eine leistungsstarke Industrie und eine robuste

»Mehr als 60 Milliarden Euro des Konjunkturprogramms gehen in Bildung, Forschung und Innovation.«

»Die Quantentechnologie ist der nächste große Technologiesprung. Der Fraunhofer-Gesellschaft kommt dabei eine zentrale Rolle zu.«

Volkswirtschaft verfügt. Im Bereich der Mobilität heißt das, dass wir den Umstieg auf klimafreundliche Antriebe entschlossen vorantreiben und auf beides setzen: Elektromobilität und Wasserstoff. Wir müssen das Henne-Ei-Problem bei den E-Autos lösen: Es gibt zu wenig E-Autos, weil es nicht genügend Ladestellen gibt, und es gibt nicht genügend Ladestellen, weil es zu wenig E-Autos gibt, damit sich deren Betrieb rentiert. Und für einen CO<sub>2</sub>-freien Schwerlastverkehr müssen wir ein Wasserstoff-Tankstellennetz aufbauen. Und wir brauchen sehr viel mehr Strom aus erneuerbaren Energien, ein leistungsfähigeres Versorgungsnetz und müssen im großen Stil auf die Wasserstoff-Technologie setzen.

Das »Handelsblatt«, sonst eher unverdächtig als Forum für Laienpsychologie, hat eine deutsche Grundbefindlichkeit analysiert: »Nach 16 Jahren Angela Merkel sehnen sich die Bürger nach einer männlichen Version der Dauerkanzlerin.« Nützt Ihnen im Wahlkampf das bewährte Merkel-Erfolgsrezept: »Sie kennen mich?«

Bekanntlich neige ich nicht zum Psychologisieren. Es ist aber kein Nachteil, dass die Bürgerinnen und Bürger wissen, wer ich bin und dass ich als Hamburger Bürgermeister, als Bundesminister und Vizekanzler bewiesen habe, dass ich Regierung und Führung kann. ■

## Der Mann der Comebacks

### Hoffen auf Rückenwind 2020

Comeback-Scholz schlägt wieder zu: Die SPD wählt ihn zum Kanzlerkandidaten. Neun Monate zuvor war er noch in der Stichwahl zum Parteivorsitz unterlegen.



### 2015 Auf dem Weg nach oben

Olaf Scholz nach der Hamburger Bürgerschaftswahl zusammen mit Ehefrau Britta Ernst, damals Bildungsministerin, heute brandenburgische Ministerin für Bildung, Jugend und Sport.

### Er läuft und läuft und läuft 2003

Bundesarbeitsminister Olaf Scholz nutzt den Besuch in München zum Joggen im Englischen Garten mit Franz Maget, damals Fraktionsvorsitzender der bayerischen SPD.



### 2003 Stehauf-Scholz

Trotz verlorener Wahl in Hamburg machte ihn Gerhard Schröder zum SPD-Generalsekretär. Die Comeback-Qualitäten bleiben: 2004 Rücktritt wegen der Agenda-Reformen, aber 2007 wird er ein Bundesarbeitsminister, der die Finanzkrise für sich nutzen kann, um Profil als Krisenmanager zu gewinnen.



### 2001 Harte Bandagen

Als Innensenator in Hamburg stellt sich Olaf Scholz gut gerüstet der Polizeihundestaffel.

### Krauses nicht nur auf dem Kopf 1982

Von 1982 bis 1984 war Olaf Scholz stellvertretender Juso-Vorsitzender mit Kritik an der »aggressiv-imperialistischen Nato« und der Bundesrepublik als »europäische Hochburg des Großkapitals«.

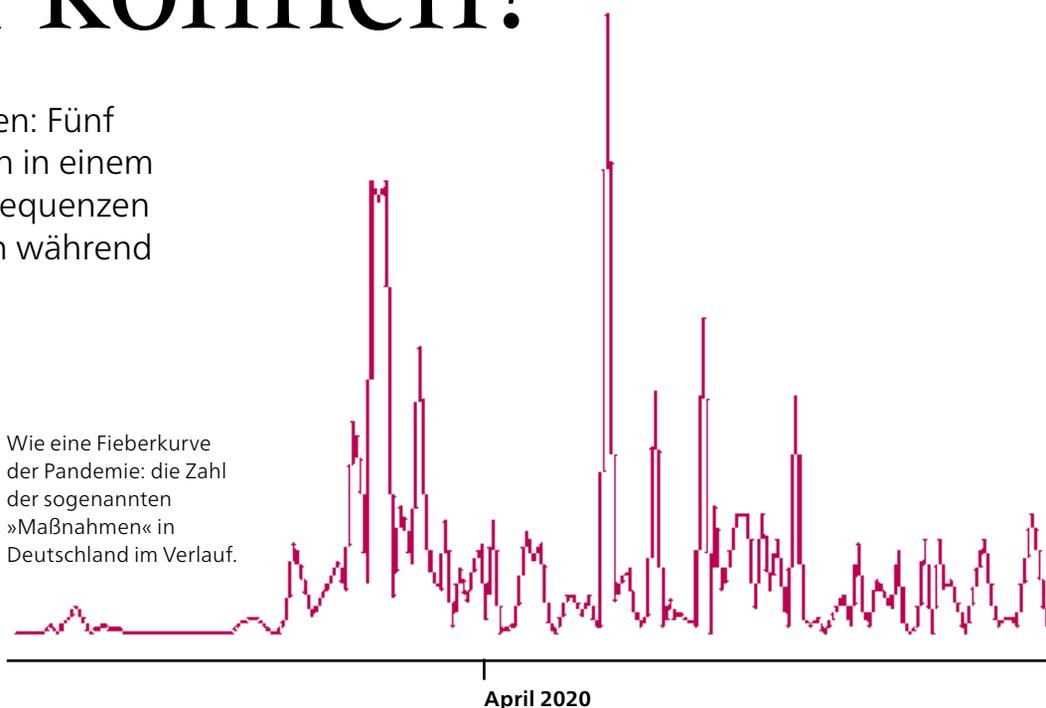


# Was hätten wir besser machen können?

Corona und die Frage der Fragen: Fünf Fraunhofer-Institute analysieren in einem gemeinsamen Projekt die Konsequenzen der politischen Entscheidungen während der Pandemie.

Von Stefan Ruzas

Wie eine Fieberkurve der Pandemie: die Zahl der sogenannten »Maßnahmen« in Deutschland im Verlauf.



**A**ngela Merkel macht in ihrer Neujahrsansprache Mut und Hoffnung, bevor sie über die Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft redet. Bei einer Ansprache ihres österreichischen Amtskollegen Sebastian Kurz fällt auf, wie er die eigene Leistung im Vergleich zu anderen Ländern betont. Geplante Maßnahmen sind das Lieblingsthema von Giuseppe Conte in seiner Zeit als Italiens Ministerpräsident.

Ein eigenes »Codebook« mit 13 Überkategorien und 125 einzelnen Kodizes wendet aktuell das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI an, um Ansprachen von Regierungs- und Staatschefs während der Covid-19-Pandemie zu erfassen und zu kategorisieren. Allgemeinere Aspekte wie »alarmierende

Aussage« oder »Rechtfertigung der Maßnahme mit Fallzahlen« gibt es genauso wie spezifische Themen.

## Verbesserungspotenziale ableiten

Das Fraunhofer ISI ist am 25. November mit vier anderen Fraunhofer-Instituten in das Projekt KResCo (Krisenmanagement und Resilienz Corona) gestartet. Ein Jahr lang werden sie in Teamarbeit politische Entscheidungen und Krisenkommunikation während der Pandemie analysieren, vor allem mit Blick auf die Konsequenzen dieser Entscheidungen.

In dem Projekt arbeiten die Institute und Zentren des Fraunhofer-Verbunds Innovationsforschung zusammen. Neben dem Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT

als Gesamtkoordinator und dem Fraunhofer ISI sind dabei: das Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, das Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW sowie das Informationszentrum Raum und Bau IRB. Jedes bringt für die insgesamt acht Arbeitspakete eine eigene Sicht auf die Dinge mit.

»Wir wollen für unterschiedliche Bereiche unserer Gesellschaft Verbesserungspotenziale ableiten – auch für künftige Pandemien: Was hätten wir besser machen können?«, erklärt Larissa Müller, Projektmanagerin beim Fraunhofer INT, eines der Ziele. Verglichen werden vor allem fünf Länder mit Covid-19-Fällen, nämlich Deutschland, Österreich, die Schweiz, Italien und Schweden.

Es geht dabei um jede Menge Fragen: Wie kommt ein föderales System mit Pan-

Angela Merkel, 66,  
Bundeskanzlerin Deutschland



Stefan Löfven, 63,  
Ministerpräsident Schweden



Sebastian Kurz, 34,  
Bundeskanzler Österreich



# 294

Maßnahmen zur  
Maskenpflicht  
in Deutschland

# 13

Maßnahmen zur  
Maskenpflicht  
in Schweden

# 138

Maßnahmen zur  
Einschränkung  
im öffentlichen  
Nahverkehr



Juli 2020

Oktober 2020

Januar 2021

demien am besten zurecht? Gibt es Normen, die nachweisbar helfen? Wie können Organisationen wie das Technische Hilfswerk eingebunden werden?

Müller: »Die Ergebnisse können zu einer höheren Resilienz beitragen, indem politisch Verantwortliche ein besseres Verständnis der Auswirkungen von Entscheidungen bekommen und dadurch das Krisenmanagement gestärkt wird.«

Daten, etwa aus dem Oxford COVID-19 Government Response Tracker oder dem CoronaNet, der weltweit größten Datenbank mit mehr als 50 000 Anti-Corona-Maßnahmen aus 195 Staaten, sollen zu einem standardisierten und somit analytisch nutzbaren Pool fusioniert werden. »Das Ganzheitliche unseres Projekts ist sein großer Mehrwert. Wir betrachten Konsequenzen in allen Bereichen – von Ge-

sundheit, Gesellschaft und Wirtschaft über Rückkopplungseffekte für das politische System bis hin zu Innovation, Krisenbewältigung und Forschungsinstitutionen. Neuland betreten wir auch im Management von Forschungsdaten«, erläutert Daniela Beyer vom Fraunhofer ISI.

### »Die Augen gerieben«

Erste Auswertungen der politischen Entscheidungen zeigen, dass Deutschland mit 1848 offiziell eingeleiteten Maßnahmen weltweit nach den USA (4020) aber noch vor China (1703) liegt. Und während es in Schweden seit Ausbruch der Corona-Pandemie 13 Maßnahmen zur Maskenpflicht gibt, sind es hierzulande 294. Umgekehrt sind es bei Einschränkungen des öffentlichen Nahverkehrs in Deutschland 51

Maßnahmen, wohingegen etwa in Österreich 138 gezählt wurden.

Welche Aktualität solche Forschungsarbeiten bekommen können, zeigt eine Fraunhofer-Studie aus dem Jahr 2013. Sie liest sich wie eine Blaupause der Gegenwart. Es geht um Millionen von Infektionen, um Zehntausende Tote, um das Schließen von Schulen und um Impfquoten. »Pandemische Influenza in Deutschland 2020 – Szenarien und Handlungsoptionen«, lautet der Titel des Papiers, verfasst am Fraunhofer INT in Euskirchen. »Die Studie war nie wirklich vergessen, aber mit dem ersten Lockdown studierten wir noch einmal, was unsere Kolleginnen und Kollegen dort beschrieben hatten«, berichtet Larissa Müller. »Vieles passte. Wir haben uns nach dem Corona-Ausbruch die Augen gerieben.«

# Big Data – Big Privacy

Datenschutz ist wichtig und richtig – und er muss nicht auf Kosten der Qualität von Big-Data-Analysen gehen, belegt eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT.

Von Franziska Sell

**E**igentlich ist innerhalb Europas alles klar geregelt: Wer personenbezogene Daten gesetzeskonform in Big-Data-Umgebungen verarbeitet, muss den Datenschutz schon bei der Konzeption seiner Lösung berücksichtigen. So weit, so eindeutig – so sicher für die Privatsphäre des Einzelnen.

Dass es sich immer lohnt, bei diesem Thema noch einmal ganz genau hinzusehen, wird im Kontext maschinelles Lernen deutlich: Da die Algorithmen üblicherweise auf Datensätzen trainiert und evaluiert werden, die kein gemeinsames Element beinhalten, wurde lange angenommen, dass es nicht möglich ist, vom finalen Modell Rückschlüsse auf die zum Training verwendeten Daten zu ziehen. Sicherheitsexperten wie Prof. Martin Steinebach, Leiter der Abteilung IT-Forensik am Fraunhofer SIT in Darmstadt, konnten jedoch nachweisen, dass sich bestimmte Techniken unerwartet deutlich an die individuellen Informationen erinnern und auf bekannte Daten stärker reagieren. Zudem kommen immer neue Verfahren hinzu, die es ermöglichen, spezifische Daten aus den Netzen zu extrahieren.

Steinebach skizziert die Risiken an einem fiktiven Beispiel: Eine Krankheit lässt sich am Gesicht diagnostizieren. Nun soll eine App Menschen zeigen, ob sie erkrankt sind oder gefährdet. Das entsprechende System wird mit Porträts von beständig Kranken trainiert. »Will ich die App herausgeben, muss ich das Wissen aus diesem Netz zur Verfügung stellen«, erklärt Steinebach. Er hält die Gefahr für real, dass mit neuester Technik der Weg von den Fotos zu den Patienten und ihren Daten zurückverfolgt werden kann. Steinebach: »Das ist fatal. Wenn ein System, das dazu gedacht ist, Menschen auf Basis von maschinellem Lernen mehr medizinische Sicherheit zu geben, mit einem Mal zu einem Enttarnungsmechanismus wird.«

### Wie lassen sich Big-Data-Analysen mit Datenschutz verbinden?

Privacy-preserving Machine Learning (PPML) heißt das noch junge Forschungsfeld, das der Bedeutung des Themas Rechnung trägt und sich zum Ziel gesetzt hat, die Privatsphäre des Einzelnen zu schützen und gleichzeitig das Training von Modellen auf Daten von vielen Personen zu ermöglichen. Die bereits erarbeiteten Ansätze der

Forschenden finden sich in der aktuellen Studie »Privacy und Big Data« des Fraunhofer SIT. »Mit welchen Strategien kann ich Daten so weit anonymisieren, dass ich immer noch Big-Data-Analysen darauf ausführen kann und zugleich den Datenschutz beachte?«, bringt Martin Steinebach als einer der Autoren die zentrale Frage der Forschungsarbeit auf den Punkt.

In der Studie evaluieren die Autoren die wichtigsten Verschlüsselungstechnologien anhand der Verarbeitungsschritte in Big-Data-Systemen: von sicheren Übertragungskanälen, »Data in Transit«, über die sichere Speicherung, »Data at Rest« – bis hin zur sicheren Verarbeitung, »Data in Use«.

Allgemein sieht Steinebach die Entwicklung im Bereich Big Data und Datensicherheit auf einem guten Weg: »Alle Beteiligten haben viel dazugelernt und die Offenheit der Unternehmen ist gewachsen. Die Datenschutzgrundverordnung hat vielen deutlich gemacht, dass sie das Thema nicht mehr ignorieren können. Allein dadurch, dass Verstöße gegen den Datenschutz nun bezifferbar sind, nehmen es die Verantwortlichen sehr viel genauer damit.«

### Welchen Wertverlust haben Daten, wenn sie anonymisiert werden?

Doch inwieweit beeinflusst Privatheit die Ergebnisse von Big-Data-Analysen tatsächlich? »Um eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu haben, muss ein Unternehmen klar sehen: Wenn ich nicht mehr individuelle Nutzer unterscheiden kann, sondern beispielsweise nur Zehnergruppen – was bewirkt das in meinen Analysemechanismen? Werden sie ein Prozent ungenauer, zehn Prozent oder im Promille-Bereich? Erst wenn ich das weiß, weiß ich auch, was mich das kostet, und kann mir überlegen, ob ein Geschäftsmodell, das datenbasiert ist, aber Anonymisierung erfordert, in der gedachten Form sinnvoll ist.«

In einem aktuellen Forschungsprojekt untersuchen der Sicherheitsexperte und sein Team daher, welchen Wertverlust Daten konkret erfahren, wenn sie anonymisiert werden. Steinebach zeigt sich überzeugt, mit den Ergebnissen bestehende Bedenken ausräumen zu können: »Ich bin sehr zuversichtlich, dass die Implikationen einer Anonymisierung in vielen Fällen deutlich geringer sind als befürchtet.« ■



»Das ist fatal, wenn ein System, das mehr medizinische Sicherheit geben soll, zu einem Enttarnungsmechanismus wird.«

Prof. Martin Steinebach

# DNA-Origami gegen Infektionen

Die DNA kann mehr als Erbinformationen speichern. Sie ist auch ein idealer Baustoff für winzige filigrane Gerüste. Diese Konstrukte bilden die Basis für neue Therapien gegen Viren und antibiotikaresistente Keime.

Von Christine Broll

Die DNA hat die Form einer Doppelhelix und ist schraubenförmig gewunden – ähnlich wie eine gedrehte Leiter.



Das DNA-Origami mit den Initialen des Fraunhofer IZI besteht aus einem Gewebe aus DNA-Strängen. Darauf sind punktförmig Proteine befestigt, die den Schriftzug bilden.

**W**enn sich Japaner in der Kunst des Origami üben, benutzen sie edles Papier und falten daraus Kraniche oder feine Blüten. Wenn Dr. David M. Smith ein Origami herstellt, nutzt er ein noch edleres Material. Er verwendet DNA und faltet daraus dreiarmlige Sterne, Röhren oder Ringe. Manchmal legt er die DNA-Stränge auch so kunstvoll aneinander, dass ein mikroskopisch kleiner Teppich entsteht, den er dann mit Proteinen oder Zuckermolekülen garniert. Der Physiker am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig schafft mit diesen Gerüsten die Basis für eine neue Klasse von Medikamenten. Sie sollen krank machende, sogar antibiotikaresistente Keime unschädlich machen.

Dass dieses Prinzip funktioniert, hat Smith mit seinem Team bereits gezeigt – zuerst am Influenzavirus und dann an dem Respiratorischen Synzytial-Virus, kurz RSV. Das RSV ist einer der bedeutendsten Erreger von Atemwegsinfektionen bei

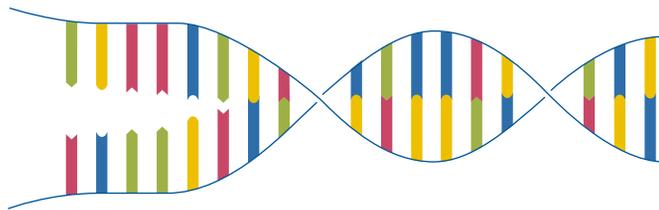
Das Origami  
misst nur  
**70 mal 100  
Nanometer,**  
das entspricht  
**1 Tausendstel**  
des Durchmessers  
eines Haares.

Säuglingen und Kleinkindern, Infektionen kommen aber in allen Altersgruppen vor. In Laborversuchen, die gemeinsam mit Dr. Thomas Grunwald, dem Leiter der Arbeitsgruppe Präklinische Validierung am Fraunhofer IZI stattfanden, war ein beachtlicher Effekt zu beobachten. Die an dreiarmlige DNA-Konstrukte gebundenen Peptide bekämpften RSV-Viren deutlich besser als einzelne Peptide. Zurzeit laufen die ersten Versuche, um die Wirkung an Mäusen zu testen. Im Projekt CoronaSense, das im Rahmen des Fraunhofer-Anti-Corona-Programms gefördert wird, entwickelt die Arbeitsgruppe von David M. Smith auch dreiarmlige DNA-Konstrukte gegen SARS-CoV-2. Denn auch die Rezeptoren auf dem Spike-Protein des Coronavirus bestehen aus drei Untereinheiten.

Die Idee, DNA als Baustoff zu nutzen, hatte der US-amerikanische Biochemiker Ned Seemann bereits 1982. Doch erst neun Jahre später gelang es ihm, die ersten feinen Gerüststrukturen auch wirklich zu bauen. »Damals war es sehr aufwendig, ►

# DNA – ein ganz besonderer Baustoff

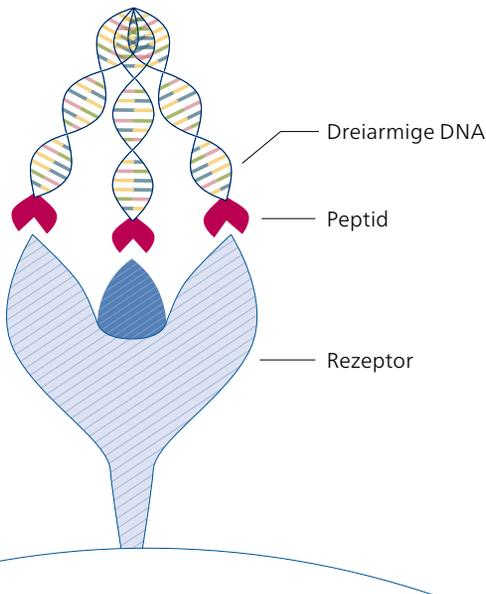
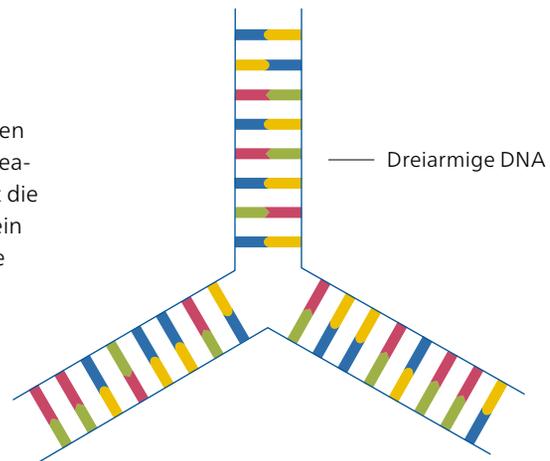
Ohne DNA gäbe es kein Leben. Die gesamte Erbinformation ist in ihr enthalten. Aus ihr lassen sich auch dreiarmlige Gerüste bauen, die an Viren binden und sie so unschädlich machen.



Adenin	<span style="color: green;">■</span>	Thymin	<span style="color: red;">■</span>
Guanin	<span style="color: yellow;">■</span>	Cytosin	<span style="color: blue;">■</span>

Die natürliche DNA besteht aus zwei einzelnen Strängen. An jedem Strang sitzen wie feine Zähne die vier verschiedenen Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Sie bilden die Buchstaben, mit denen der genetische Code geschrieben ist. Die Basen sorgen auch dafür, dass die beiden Stränge der DNA aneinanderhaften. Dabei verbindet sich Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin. Aufgrund der vorgegebenen Basenpaarung sind die beiden Stränge zueinander komplementär.

Der Automatismus, mit dem sich die passenden Basen miteinander verbinden, macht die DNA zu einem idealen Baustoff. Man stellt Einzelstränge her und wählt die Sequenz so, dass sich komplementäre Stränge wie ein Reißverschluss in der gewünschten Form von alleine zusammenfügen.



Die dreiarmlige DNA bindet wie ein Dreieck an den Rezeptor eines Influenza-Virus. Da sie sich gleichzeitig an drei Stellen anheftet, ist die Bindung besonders stark. Der Rezeptor des Virus wird blockiert und kann keine Zellen mehr infizieren.

DNA im Labor herzustellen«, erklärt David M. Smith. Um einen einzelnen, kurzen Strang zu synthetisieren, brauchte man Wochen oder Monate. Heute liefern spezialisierte Firmen innerhalb weniger Tage auf Bestellung DNA-Stränge mit jeder gewünschten Sequenz.

Für seine Origamis benutzt Smith nicht die natürlich vorkommende DNA, die aus zwei aneinanderhaftenden Strängen besteht. Er verwendet DNA-Einzelstränge und wählt deren Struktur so, dass sie sich gemäß seinem Bauplan zur gewünschten Form zusammenlagern (siehe Grafik). In der Praxis ist das schnell gemacht. Die vorgefertigten DNA-Stränge kommen ins Reagenzglas, werden auf 90 Grad erhitzt und dann ganz langsam abgekühlt. Dabei paaren sich Einzelstränge, die zueinander komplementär sind, und bilden einen Doppelstrang.

### Dreizack attackiert Viren effektiver

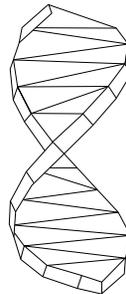
»In der Entwicklung anti-viraler Wirkstoffe haben sich bei uns dreiarmlige Strukturen sehr gut bewährt«, sagt Smith. Der gebürtige Texaner, der 2013 ans Fraunhofer IZI kam, knüpft an die Spitzen der drei Arme kleine Proteine, sogenannte Peptide. So entsteht ein »Dreizack«, der ganz gezielt die Rezeptoren von Viren attackiert. »Die Rezeptoren von Viren bestehen häufig aus drei Untereinheiten«, erklärt Smith. »Der Dreizack kann gleichzeitig an alle drei Untereinheiten binden. Das ist wesentlich effektiver. Wir haben diese Technologie bereits durch zwei Patente gesichert.« Im Prinzip arbeiten die Dreizacke wie Antikörper. Indem sie sich an die Rezeptoren heften, verhindern sie, dass das Virus in Zellen eindringen kann.

Während dreiarmlige DNA-Gerüste relativ einfach herzustellen sind, zählen Gebilde aus mehreren hundert Einzelsträngen zur hohen Kunst des DNA-Origami. Dass David M. Smith auch diese beherrscht, bewies er zum zehnjährigen Jubiläum des Fraunhofer IZI. Er kreierte ein DNA-Origami mit den Initialen des Instituts. Dafür verwendete er einen extrem langen DNA-Strang, den er mit kurzen Strängen zu einem feinen Teppich verband. Auf dieses



**Dr. David M. Smith**

studierte an der Universität Texas Physik und Philosophie. 2013 kam er an das Fraunhofer IZI nach Leipzig, wo er heute die Arbeitsgruppe DNA-Nanosysteme leitet.



### DNA-Origami zum Selberfalten

Einfach das PDF mit der Vorlage herunterladen, ausdrucken und nach der ausführlichen Videoanleitung eine bunte DNA-Doppelhelix basteln.



Die Anleitung finden Sie hier: [www.yourgenome.org/activities/origami-dna](http://www.yourgenome.org/activities/origami-dna)

Gewebe befestigte er punktförmig Proteine, die den Schriftzug »IZI« bilden. Damit das Kunstwerk sichtbar wird, musste es mit einem speziellen Rasterkraftmikroskop fotografiert werden – denn das Origami misst nur 70 mal 100 Nanometer und damit ein Tausendstel des Durchmessers eines Haars. So schaffte es das Origami auf die Titelseite des Jahresberichts 2014.

### Neue Waffe gegen antibiotikaresistente Keime

Im Projekt Glyco3Display arbeitet Smith gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung an der Entwicklung einer neuen Klasse antimikrobieller Wirkstoffe. Dazu befestigt er verschiedenste Arten von Zuckern auf seinen DNA-Gerüsten. Gesucht sind Zucker, die an Bakterien binden und sie dadurch quasi neutralisieren. Um hier generalstabsmäßig vorzugehen, hat das Projektteam eine Screening-Plattform aufgebaut. Damit sollen zwei Fragen beantwortet werden: Welche Zucker binden an welche Bakterien? Und zum anderen: Wie ist die optimale geometrische Anordnung der Zucker auf dem DNA-Gerüst? Die ersten Versuche liefen mit dem Darmbakterium E.coli und sind vielversprechend. Als Nächstes werden respiratorische Viren getestet, wie zum Beispiel Influenza A, RSV und natürlich SARS-CoV-2. »Wir könnten das Therapeutikum als Spray oder zur Inhalation verabreichen«, überlegt Smith. »So erreichen wir gleich den Rachen und die Lunge.«

Weiter fortgeschritten ist die Anwendung der Zucker-DNA-Konstrukte für die Diagnostik. Die spezifische Bindung der Zucker an die Oberfläche von Viren kann auch zum Nachweis der Viren genutzt werden. Smith möchte die Technologie über eine Ausgründung vermarkten. »Mit dem AHEAD-Programm zur Förderung von Start-up-Unternehmen unterstützt uns Fraunhofer Venture bei der Marktrecherche und der Entwicklung eines Businessplans«, freut sich Smith und fügt mit einem Augenzwinkern hinzu: »Wir entwickeln jetzt die Plattform, dann können wir bei der nächsten Pandemie schnell reagieren.«

# »Angriffsflächen sind größer geworden«

Cybersicherheitsforscherin Dr. Haya Shulman vom Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT erhält den achten Deutschen IT-Sicherheitspreis. Ihr »Cache Test« schützt sensible Internet-Infrastrukturen.

Interview: Franziska Sell

\_\_\_\_\_ **Frau Shulman, haben sich im Corona-Digitalisierungsschub Cyberattacken verändert?**

Durch das Homeoffice so vieler Menschen ist die Angriffsfläche deutlich größer geworden. Die Firewalls der Mitarbeitenden zu Hause entsprechen nicht den Standards für Unternehmen. Sie werden nicht von Systemadministratoren konfiguriert. Das macht es sehr viel einfacher, in Firmennetze einzudringen. Da gibt es einiges nachzurüsten.

\_\_\_\_\_ **Sie haben gerade den Deutschen IT-Sicherheitspreis bekommen. Wo setzt Ihre Lösung an?**

Es geht um das bekannte Problem, dass sich Kommunikation im Internet umleiten lässt. Wer sendet, braucht eine IP-Adresse. Dann wird die Kommunikation über verschiedene Knoten zum Empfänger geschickt. Dessen IP-Adresse liefern Domain-Name-Service-, kurz DNS-Server. Sie sind im Grunde die Gelben Seiten des Internets: Man schlägt eine Seite auf, sucht über den Namen die Anschrift, fährt vorbei und liefert seinen Blumenstrauß ab. Angreifer attackieren genau diese DNS-Server und geben falsche IP-Adressen aus. So kann es passieren, dass Sie ohne es zu bemerken sensible Daten vom Passwort bis zur Geheimzahl an Kriminelle schicken – statt beispielsweise an Ihre Hausbank. Mein Tool prüft DNS-Infrastrukturen automatisiert auf Schwachstellen.

\_\_\_\_\_ **Was ist das Besondere an Ihrem »Cache Test«?**

Es ist wirklich eine Lösung für alle, die sich im Internet bewegen – vom Endnutzer bis zur Regierungsbehörde. Jeder kann seinen Dienstanbieter auf Sicherheitslücken untersuchen, der Anbieter sich selbst

## Interview



Dr. Haya Shulman

ebenso – und das periodisch, schnell und unkompliziert. Dazu gibt mein Werkzeug gefälschte IP-Adressen an – für verschiedene Dienste, die ich aufgesetzt habe. Ich führe Angriffe für diese Dienste durch. Am Ende erhalten Sie einen Bericht, der Schwachstellen aufzeigt und Gegenmaßnahmen empfiehlt.

\_\_\_\_\_ **Wie stehen die Chancen für den Markt?**

Sehr gut. Ich versuche, die Werkzeuge, die ich entwickle, immer möglichst automatisiert zu gestalten. Damit entfällt die Fehlerquelle Mensch. Und der Aufwand muss für den Nutzer so gering wie möglich sein. Bei Cache Test genügt ein Klick, damit die Untersuchung durchgeführt wird. Außerdem leistet das Tool etwas ganz Neues: Es prüft Server, ob sie gefälschte IP-Adressen annehmen, beziehungsweise ob man gefälschte Adressen eingeben kann. Damit haben wir eine reale Chance, das Netz sehr viel sicherer zu machen.

\_\_\_\_\_ **Sie sind eine der führenden Cybersicherheitsforscherinnen weltweit, lehren als Gastprofessorin an der Universität, führen Ihre eigene Firma – und entwickeln eine preisgekrönte Lösung für elementare IT-Probleme. Dazu sind Sie Mutter dreier Kinder. Wie schaffen Sie das?**

Ich habe das Glück, etwas zu tun, wofür ich mich begeistere. Sehen Sie, die Arbeit macht einen so großen Teil unseres Lebens aus, da ist es ungemein wichtig, sie zu genießen. Als ich noch keine Kinder hatte, brauchte ich Ruhe, um produktiv sein zu können. Heute kann ich mit meinen Kindern auf dem Schoß Papiere schreiben und Lösungen entwickeln. Das ist großartig!

Corona hat uns über viele Monate bewusst gemacht, wie kostbar unsere Sinne sind: Geruch, Geschmack – alles durch das Virus in Gefahr.

**Genuss** hat der Lockdown zur Rarität gemacht. Durch die Maßnahmen zur Pandemie-Bekämpfung **ist** Genießen zu einer bedrohten Lebensart geworden. Fraunhofer-Forschende arbeiten daran, die Sinne zu digitalisieren. Wie Technik hört, riecht und schmeckt – wir diskutieren es in der **Begegnung** mit Profis aus der Praxis.

Whisky &  
Wissenschaft  
**S. 36**

Forschen &  
Kochen  
**S. 44**

Technik &  
Sinne  
**S. 50**

## »Campus der Sinne«

### Säule, Aroma-Experte

---

Die Glaskapillare, 30 Meter lang und zu einem handlichen Ring gewickelt, trennt Geruchsstoffe in Leichtlösliches und Schwerlösliches auf. Was die Nase als Blumen und Honig wahrnimmt, wird hier dann schlicht zu 2-Phenylethanol, Nelke zu 4-Allyl-2-Methoxyphenol.

# Whisky, nüchtern betrachtet

Das Destillat ist Genussstoff, spielt eine Kultrolle in ungezählten Filmen, Fachleute überbieten sich in phantasievollen Beschreibungen. Im »Campus der Sinne« macht sich Fraunhofer daran, Aroma und Geschmack zu entschlüsseln. Traum oder Albtraum? Ein Treffen von Experten.

Von Josef Oskar Seitz  
Fotografie: Michela Morosini

**Stefan Gabányi,  
Whisky-Experte**

---

Mit dem »Schumann's Whisk(e)y-Lexikon« hat er das Standardwerk für Liebhaber geschrieben. Bei der Bar-Legende Charles Schumann hat er 23 Jahre lang gearbeitet. Seit 2012 betreibt Stefan Gabányi seine eigene Bar in München.



**Dr. Tilman Sauerwald,  
Physiker**

---

Der Experte für Gasesstechnik arbeitet seit 2020 im Fraunhofer IVV an der Detektion komplexer Gasgemische durch Sensorsysteme. Im »Campus der Sinne« beschäftigt sich Sauerwald als Projektleiter aktuell mit der Entschlüsselung von Whisky-Aromen.



**D**er Weg zum Genuss, hier führt er hinab, zehn Stufen, hinein in die Bar. Schuhsohlen quietschen übers frische Schwarz, gerade wurde der Fußboden neu lackiert. Tiefe Ledersessel warten in dunklem Braun. Ganz hinten ein Piano, hier spielt der Chef auch selbst. Jetzt greift er zur Flasche. Stefan Gabányi schenkt Whisky ein. Longrow Single Malt. Noch bleibt der Inzidenz-Wert zu hoch für Gäste. Daher sind es die einzigen Gläser, die der Wirt an diesem Abend in seiner Münchner Bar befüllen wird.

Genuss gehört zu den bedrohten Lebensarten. Restaurants und Gaststätten, Kneipen und Bars – alles lange im Lockdown. Er sei Hausmann, aktuell, sagt Gabányi. Da kokettiert der Barmann. 23 Jahre lang hat er Nacht für Nacht in München im legendären Schumann's gearbeitet, als anerkannter Fachmann für Whisky. Seit 2012 betreibt er seine eigene Bar, offen bis früh um fünf, zu normalen Zeiten, einmal die Woche Live-Musik. Gerade erscheint sein Standardwerk »Schumann's Whisk(e)y-Lexikon« auch in englischer Übersetzung, für die Whiskyfreunde international. Gabányi schenkt ein, nur zum Riechen. Aber was heißt das schon: nur riechen? Wenn die Nase auf diesen Whisky nicht reagiert, wird es höchste Zeit für den Corona-Test.

»Zunächst die Torfnote«, erklärt Gabányi. »Für manchen hat das auch etwas Medizinisches, etwas von Jod. Dann kommt aber auch schon die Frucht. Auch Nelke. Etwas Salz oder Pfeffer ...« Dr. Tilman Sauerwald schnuppert konzentriert. »Etwas Süßes ist auch dabei«, rätselt der Fachmann vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV: »Birne?«

**Der Mensch riecht, solange er atmet.** 350 Rezeptortypen arbeiten 24 Stunden, Tag und Nacht. Unabhängig von Schlaf oder Wachsein erregen Duftmoleküle die Riehzellen, produzieren einen Strom, der über die Nervenfasern ins Gehirn geleitet wird, erreichen die Gehirnareale des limbischen Systems, zuständig für Emotionen und Stimmungen, und den Hippocampus, verantwortlich für Erinnerung und Gedächtnis. Diese Standleitung macht das Riechen so unmittelbar – und für den Menschen so schwierig. Um das Unfassbare auszudrücken, greifen Fachleute zu Wortkrücken. Gabányi berichtet von Whisky-Verkostungen in Schottland, wo sich die Kenner mit Leidenschaft in der Beschreibung der Duftnoten überbieten. »Wie eine nasse Pferddecke«, hat er schon gehört. Oder auch: »Da rieche ich den Achselschweiß einer Möwe.«

Dr. Tilman Sauerwald arbeitet an einem anderen Weg. Der Physiker und Experte für Gasmestechnik ist Projektleiter im »Campus der Sinne«. In dieser Initiative, gefördert vom Bayerischen Staatsministerium

**350**  
**Rezeptor-**  
**typen**  
**arbeiten**  
**24**  
**Stunden,**  
**Tag und**  
**Nacht.**

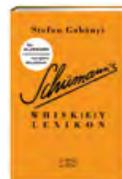
für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, erforschen Fachleute vom Fraunhofer IVV und vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Geruch und Geschmack – und wollen diese chemosensorischen Sinneswahrnehmungen in maschinelle und digitale Konzepte überführen. Zusammen mit seinem Team hat sich Sauerwald für Whisky als Forschungsobjekt entschieden. Ihn als Wissenschaftler fasziniert die Vielfalt, der Variantenreichtum, die Vielschichtigkeit.



Diese Aromen schmeckt der Mensch im Whisky: Birne und Zitrus, Ingwer und Zimt.

**»Da habt ihr Euch etwas vorgenommen!«,** staunt Gabányi. »Eine sehr komplexe Aufgabe«, bestätigt Sauerwald.

In seiner Bar erklärt der Whiskymann die Aromenvielfalt. »Das Wasser, ganz wichtig!«, sagt Gabányi. Als Beispiel beschreibt er die Hebriden-Insel Islay, von Stürmen umtost, bekannt für die schottischsten aller schottischen Whiskys. Die Insel ist von Torf bedeckt, der das Wasser leicht gelblich färbt – und im Geschmack verändert. Das lässt den Phenolgehalt der Whiskys steigen. Zehn PPM im Malz machen leicht rauchig, ab 40 PPM wird's ein Gebräu für Spezialisten. Gabányi spricht auch von den schottischen Brennblasen, Pot Still heißen sie, die für deutsche Obstbrenner zu unsauber arbeiten würden, gerade deshalb aber komplexere Aromen befördern können. Dann kommt er zu den Fässern, für manchen Experten schlicht »die Mutter des Whiskys«, weil sie 60 bis 80 Prozent des Aromas entstehen lassen. Er berichtet von Sorten, ►



Süffige Fachliteratur für Liebhaber auf 600 Seiten. Aktuell ist die englische Übersetzung erschienen.



Zwei Gegensätze nähern sich an: Stefan Gabányi als erfahrener Praktiker und Dr. Tilman Sauerwald als Naturwissenschaftler.

die ihre letzten Jahre vor dem Ausschank noch in eigens importierten Portwein- oder Sherry-Fässern reifen. Er beschreibt die Unterschiede von europäischer Fasseiche, die mehr Tannine enthält, und der amerikanischen Eiche mit ihren Vanillearomen. Damit erklärt er, warum sich Liebhaber so sehr für Einzelfassabfüllungen begeistern, weil die so einzigartig sind und so exklusiv und unwiederholbar im Genuss, schließlich ist jedes Fass seine eigene limitierte Edition, die nur 300 Flaschen hergibt – oder weniger. Ende Februar wurde in Schottland eine 0,75-Liter-Flasche »The Macallan 1926 Fine and Rare« versteigert, Zuschlag bei 1 157 000 Euro. Von dem Fass waren 1986 nur 40 Flaschen abgefüllt worden, nur 14 mit dem Fine-and-Rare-Etikett. Der Weltrekord für eine Flasche Whisky liegt noch um etwa die Hälfte höher, bei süffigen 1,5 Millionen Pfund.

**Nüchtern betrachtet besteht die Kunst** aus rund 40 Aromastoffen. Das klingt überschaubar. 2-Phenylethanol riecht nach Blumen und Honig, 2-Methoxyphenol hat etwas rauchig Verbranntes. Gamma-Nonalacton erinnert an Kokos, 4-Allyl-2-Methoxyphenol an Nelke. Quercuslactone entstehen aus Inhaltsstoffen des Eichenholzes. Komplex wird es durch die Wechselwirkungen. Außerdem verblüffen selbst chemisch nahe Verwandte immer wieder mit ihren Verschiedenheiten. Zur einen Substanz sagt die Nase noch: Holz. Zur anderen schon: Gummi.

Nüchtern  
betrachtet  
besteht  
die Kunst  
aus rund  
**40**  
Aroma-  
stoffen.

Eines seiner Werkzeuge hat Dr. Sauerwald für diesen Abend in die Bar mitgebracht. Es heißt Säule. Eine Glaskapillare, hauchdünn und 30 Meter lang, ist zu einem Kreis von 30 Zentimetern Durchmesser gewickelt. Darin befindet sich fast flüssiger Kunststoff. Diese Säule wird im Ofen auf Temperatur gebracht, 250 bis 300 Grad. Gas wird eingeleitet, Leichtlösliches trennt sich vom Schwerlöslichen und kann zeitversetzt über ein Y-Endstück parallel gerochen und gemessen werden. Um das Konzert der Aromastoffe zu entschlüsseln, braucht es ein Konzert von Fachleuten. In Sauerwalds Team arbeiten Ingenieure und Psychologen, Lebensmittelchemiker und Neurowissenschaftler, um den Schlüssel zum Whisky-Aroma zu finden. »Wir brauchen diese Interdisziplinarität, gerade bei den Sinnen«, erklärt der Projektleiter. »Sie ist zwar eine sehr hohe Herausforderung, bis alle allein schon dieselbe Sprache sprechen, aber sie wird in der Wissenschaft ganz sicher immer mehr an Bedeutung gewinnen – und bei Fraunhofer durch die Vielfalt der Institute ohnehin.«

**Die Messdaten des Gaschromatographen** addieren sich zu Aromaprofilen. Diese heute noch meist manuelle Arbeit zu automatisieren, ist eines der Ziele von Tilman Sauerwald. Bisher analysiert sind Scotch Blends. Die Datenbasis der ausgelesenen schottischen Whiskys wird aktuell ergänzt um ausgewählte deutsche Whisky-Sorten. Bis Jahresende soll auf dieser Basis eine Klassifikation entstehen, die durch ein humansensorisches Panel trainiert ist, also durch menschliche Tester. Dann wird sich zeigen, ob die Maschine neue Mischungen ebenso eingruppiert wie der Mensch. Sauerwald fasst zusammen: »Wir versuchen, den Geruch und den Geschmack maschinell messbar zu machen und damit den Kreativprozess des Blendens zu unterstützen.« Letztlich sollen die Blendmeister, die für die Geschmacksverlässlichkeit die großen Whisky-Marken mischen, ein Hilfsinstrument zur Aromavorhersage bekommen – und ein Werkzeug, um Fehleraromen rechtzeitig zu detektieren und zu vermeiden. 90 Prozent des Scotch gehen als Whisky-Blend über den Ladentisch. Da ist Verlässlichkeit wichtig: damit ein Johnny Walker immer nach Johnny Walker schmeckt und ein Chivas Regal nach Chivas Regal.

»Mein Traum ist«, sagt Dr. Tilman Sauerwald, »dass wir Geruch und Geschmack eines Tages genauso messen können wie die anderen Sinneseindrücke, wie Töne und Farben.«

Ein Albtraum für Stefan Gabányi, den Whisky-mann? »Für die Hersteller wäre das eine große Hilfe«, antwortet er, »für die Industrie ist das wirklich hoch spannend.« Und er fügt hinzu: »Das Exklusive, das Kreative wird immer bleiben.« ■

# Riecher für Whisky

Verfahrensentwicklung einer automatisierten Geruchsbewertung



## Humansensorische Bewertung

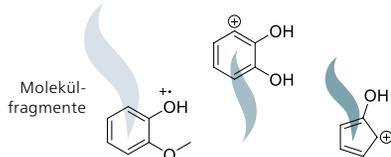
Durch trainierte Prüfer wird ein Aromaprofil für den Whisky bestimmt, an dem sich die maschinelle Bewertung »messen« lassen muss.

**Beispiel Aromastoff**  
**2-Methoxyphenol:**  
rauchig, phenolisch, verbrannt

**Beispiel Aromastoff**  
**2-Phenylethanol:**  
blumig, nach Honig

## Automatisierte Auswertung

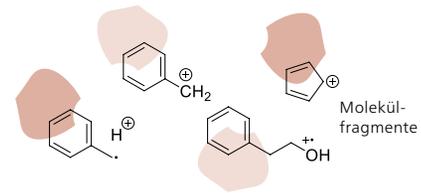
Jedes Molekül besitzt durch sein Massenspektrum und andere Eigenschaften einen charakteristischen **Fingerabdruck**. Am Fraunhofer IVV wird eine neue Methode zur automatisierten Erkennung der Moleküle aus diesem Fingerabdruck entwickelt.



Zur Auswertung werden die charakteristischen Massenspektren der Moleküle hinzugezogen, welche anhand der Molekülfragmente entstehen.

## Maschinell ermitteltes Ergebnis

Auf Basis aller mit dem **Fingerabdruck** identifizierten Moleküle wird eine holistische Geruchsbewertung des komplexen Gemischs durchgeführt. Mithilfe **künstlicher Intelligenz** wird das Aromaprofil des Whiskys ermittelt.



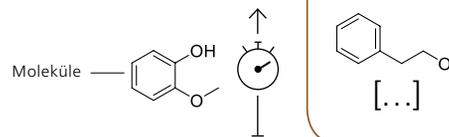
## Massenspektrometer

Die Moleküle werden im Detektor ionisiert. Bei der Elektronenstoßionisation werden sie mit Elektronen beschossen und zerfallen dabei in Fragmente, die nach Masse aufgetrennt werden.



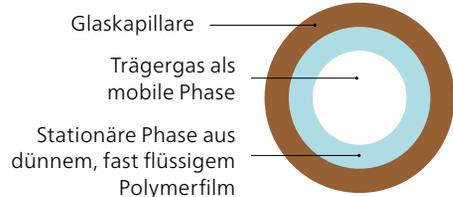
## Physikalisches Trennprinzip

Die Aromastoffe wechselwirken mit dem Polymerfilm. Sie kondensieren und verdunsten. Dabei werden die Moleküle voneinander getrennt und treten zeitlich versetzt aus der Säule aus.



## Querschnitt der Kapillare

Länge: 30 m (gewickelt)



## Gaschromatograph

kontrolliert erhitzt von Raumtemperatur bis ca. 250°C.

## Probennahme

Gerüche werden aus dem Whisky extrahiert und in den Gaschromatographen überführt

Whisky-Probe



# Brand- gefährlich

Aktuell fehlen Warngeräte für Rauch gerade an den bedrohtesten Stellen in der Wohnung. Geruchsexperten der Fraunhofer-Institute IIS und IVV arbeiten an einer Lösung – mit Sinn(en).

Von Josef Oskar Seitz



Die Nase erkennt Zigarrenrauch spontan. Wie aber kann Technik lernen, Genuss von Gefahr zu unterscheiden? Sebastian Hettenkofer, Mathematiker am Fraunhofer IIS, will Maschinen beibringen, Brandgerüche zuzuordnen.

**R**iechen wir schon den ersten Holzkohlen-Grill an einem warmen Frühlingstag? Das letzte gemütliche Kaminfeuer, weil's abends eben doch noch kalt wird? Oder ist es der Kabelbrand aus der Küche des Nachbarn? Der Mensch ist ein toller Typ. Er unterscheidet spontan, schnell und absolut sicher – er hat einfach eine Nase dafür, gerade wenn es um die großen Eckpunkte seines Lebens und Überlebens geht: Genuss und Gefahr. Und die Technik?

Rauchmelder sind in allen 16 Bundesländern vorgeschrieben für Privatwohnungen, allein Sachsen begnügt sich noch mit der Pflicht für Neubauten. Sie sind installiert in Flur und Wohnzimmer, Kinder- und Schlafzimmer. Sie fehlen in Küchen. Dabei hat die »Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes« im Jahr 2020 sehr eindeutige Zahlen aus der Brandschadenstatistik öffentlich gemacht. Klarer Risikoschwerpunkt in Privatwohnungen ist die Küche. 48 Prozent der Brände in Wohnungen brechen rund um Herd und Ofen aus. In 24 Prozent der Fälle greift das Feuer von Müllbehältern aus um sich. Genau dort also, wo die Brandgefahr am höchsten ist, fehlen aktuell die automatischen Warner – obwohl, und das ist ein weiteres Ergebnis der Untersuchung, die Brände weniger weit fortgeschritten waren, wenn der Alarm durch eine Meldeanlage ausgelöst war. Auch die Schadenssumme blieb dann geringer.

**Damit Rauchmelder auch am gefährlichsten Ort warnen können**, müssen sie unterscheiden lernen, ob das Schnitzel in der Pfanne angebrannt ist oder gerade der Küchenvorhang in die Gasflamme gerät. Aktuell aber detektieren die allermeisten Warngeräte nicht die verschiedenen Gase in ihren unterschiedlichen Konzentrationen. Im Kooperationsprojekt »Campus der Sinne« arbeiten das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS und das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV an einer Lösung. Sie wollen mit technischen Sensoren und KI-basierter Auswertung die Sicherheit beim Wohnen erhöhen und die Zahl von Fehlalarmen reduzieren. Sebastian Hettenkofer ist fasziniert von dieser Aufgabe, einer Maschine beizubringen, die komplexe Welt der Moleküle zu verstehen – und ein lernendes System zur Erkennung von Bränden an den Gerüchen zu ermöglichen.

Der Mathematiker am Fraunhofer IIS in Erlangen kommt von der Bildverarbeitung. Da hat er erlebt, wie weit die Technik inzwischen fortgeschritten ist, wenn es darum geht, das menschliche Auge in seiner Leistungsfähigkeit nachzubauen – oder zu übertreffen. »Die Analyse von Gerüchen ist ein ungleich schwierigeres Gebiet«, hat er gelernt. Aber auch: »Gerade im Rauch schlummert ein unglaubliches Potenzial.«

Menschliches Fehlverhalten, wenn etwa die Zigarre auf den Teppich fällt, gehört zu den häufigen Brandursachen.

**Brandursachen in Deutschland**

**32%**  
Elektrizität

**17%**  
Menschliches Fehlverhalten

**9%**  
Brandstiftung

Deutschland;  
2002 bis 2019

Quelle: Statista 2021



Gewaltig aber sind auch die Probleme. Rauch ist flüchtig. Datengrundlagen fehlen. Mit hohem Aufwand müssen Brände in speziellen Brandräumen simuliert werden, um die Zielgase ausmessen und Vergleichbarkeiten herstellen zu können. Schließlich geht es um hochindividualisierte Bereiche: Welche Wohnung ist mit ihren Stoffen, ihren Bodenbelägen und Ausstattungen schon absolut vergleichbar mit der des Nachbarn?

Trotz aller Probleme, die noch zu lösen sind, ist Sebastian Hettenkofer fest überzeugt von den Vorteilen einer innovativen technischen Lösung gegenüber dem althergebrachten Rauchmelder Nase. »Die Technik«, sagt er, »ist unglaublich stark bei Objektivität, Reproduzierbarkeit und Kontinuität.« In ein, zwei Jahren hofft er gemeinsam mit seinem Team für Fraunhofer schon einen Prototypen präsentieren zu können, der echten Sicherheitsnutzen verspricht. Der Fraunhofer-Mann vom IIS: »Das gibt der Gesellschaft etwas wirklich Positives.«

# Wie wäre eine Welt ohne Geruch?

Corona hat gezeigt, wie gefährdet unsere Sinne sind. Zwei Fachleute aus Theorie und Praxis treffen sich zum Gespräch über Duft und Aroma – und über Genuss.

Von Josef Oskar Seitz

»Ständig entdecken wir neue Geruchsstoffe, die die Welt noch nicht kennt.«

Prof. Andrea Büttner, Lebensmittelchemikerin und Aromaforscherin, leitet seit 2019 das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV.



[www.ivv.fraunhofer.de](http://www.ivv.fraunhofer.de)

# Begegnung



»Alles Wichtige im Leben wird begleitet von Riechen, Essen und Trinken.«

Tohru Nakamura, 37, erkochte sich 2016 den zweiten Michelin-Stern.



[www.tohrunakamura.de](http://www.tohrunakamura.de)

## Wie wäre eine Welt ohne Geruch?

**Büttner:** Schrecklich! Einmal hatte ich durch eine Infektion den Geruchssinn verloren – ich war panisch! Herr Nakamura, Sie als Koch sind wahrscheinlich genauso ängstlich, wenn es um Ihr olfaktorisches Epithel geht.

**Nakamura:** Absolut. Anfang vergangenen Jahres war da eine Woche lang nichts – glücklicherweise blieb der Corona-Test negativ. Für meinen Beruf ist das, wie wenn sich ein Skifahrer das Bein bricht. Aber auch für den Gast ist Genuss ohne Geruch kein Genuss mehr. Die Sinnlichkeit geht verloren. Es geht auch das Erinnerungsbewusstsein verloren. Wir haben ja so viele Gerüche verknüpft mit unserem Unterbewusstsein!

## Was ist der erste Geruch Ihrer Kindheit, an den Sie sich erinnern?

**Nakamura:** Der Duft von Nabe, diesem japanischen Eintopf. Mit Dashi, der klassischen Brühe aus Kombu und Bonito, Gemüse und Tofu darin, das leichte Sojabohnen-Aroma – all das köchelt in der Tischmitte, dazu der Holzfeuergeruch von unserem kleinen Kamin: Die Nase stößt bei so ziemlich jedem Menschen Erinnerungen an. Wir bauen uns unsere Welt um sie herum auf. Alles Wichtige im Leben wird begleitet von Riechen, Essen und Trinken. Feiertage ohne diese direkte Verknüpfung sind in unseren Köpfen nicht so präsent. Christi Himmelfahrt? Erinnerere ich nicht. Aber Weihnachten? Klar. Martinsgans? Ebenso.

## Frau Büttner, in welche Kindheit führt Ihre Nase Sie zurück?

**Büttner:** Mein Papa war Schreiner, sogar etwas berühmt – er hatte für den Pumuckl das Bett und die Schiffschaukel gebaut. Ich habe in den Sägespänen gespielt. Mein Kinderzimmer war aus Zirbenholz. Dieser Geruch ist für mich bis heute unglaublich. In meinem Fraunhofer-Institut analysieren wir übrigens gerade Holzgerüche. Es ist erstaunlich, wie wenig wir darüber wissen. Ständig entdecken wir neue Geruchsstoffe, die die Welt noch nicht kennt. Das macht dann richtig Freude, wenn das synthetisiert ist – und plötzlich stehen Sie in einer Geruchswolke, die vor Ihnen noch kein Mensch erlebt hat.

## Etwa 15 Prozent der Menschen haben keinen – oder einen sehr eingeschränkten – Geruchssinn. Wie viele sind Geschmackslegastheniker?

**Büttner:** Viele, erschreckend viele. Da geht es ja nicht allein um die Gefahr durch Corona. Auch andere Infektionen bedrohen Geruch und Geschmack: Alzheimer, Parkinson, neuro-degenerative Erkrankungen, dazu einfach das Altern – die Quote ist erstaunlich hoch. In unserem Institut untersuchen wir daher nicht nur Aromen, wir analysieren auch Menschen. Wir nehmen einzelne Aromastoffe ▶



Prof. Andrea Büttner und Tohru Nakamura in seinem »Salon Rouge« in der Münchner Altstadt.

»Wie realisieren wir nach Corona die sichere und genussreiche Küche?«

Prof. Andrea Büttner

und testen die Varianz. Sie wären schockiert, wenn Sie sehen würden, wie unterschiedlich empfindlich Menschen in ihren Geruchsschwellen sind, die liegen mitunter in Zehnerpotenzen auseinander.

**Nakamura:** Wenn ich für 30 Gäste koche, dann empfinden das 30 Gäste unterschiedlich. Und trotzdem schaffen wir Abend für Abend in unserem Restaurant einen Grundkonsens – und ein kulinarisches Glückserlebnis.

**Büttner:** Faszinierend.

**Nakamura:** Aber die Frage bleibt – wie können wir das noch zuverlässiger lenken? Was von unseren Anstrengungen hinter den Kulissen bekommt der Gast überhaupt mit: im Geschmack, optisch, akustisch? Wie knusprig sollen Dinge sein? Wie sollen sie sich beim Essen anhören? Wir haben so viele Variablen, so viele Unbekannte!

———— **Was glauben Sie, von der Forschung, von Frau Büttner lernen zu können?**

**Nakamura:** Sehr viel. Unsere Art von Gastronomie lebt ja von Konstanz. Es ist unglaublich wichtig, dass wir das Sinnliche, dass wir das Emotionale, dass wir die Glücksmomente für unsere Gäste nicht nur schaffen, sondern auch reproduzieren können. Da stellt sich ganz klar die Frage: Mit welchen multisensorischen Einflüssen können wir arbeiten, damit der Gast sich noch wohler fühlt und eine noch positivere Erinnerung nachhaltig abspeichert. Der Duft des Raumes, der Duft der Speisen – ich glaube, dass wir in der Gastronomie da noch ganz am Anfang stehen. Ich bin mir sicher, dass wir in der Sterne-Küche von der Wissenschaft noch viel lernen können.

**Büttner:** Willkommen bei Fraunhofer! Genau solche Fragen treiben mich gerade um: Wie realisieren wir nach Corona die sichere und genussreiche Gastronomie? Da wird sich nicht nur das Raumklima der Zukunft ändern müssen. Dazu gehören Klimatisierung und Luftumwälzung, Aerosolausbreitung, proaktive Hygiene, Desinfektion und Dekontamination, Gerüche und Oberflächenbeschaffenheit von Innenausstattung, Küchenutensilien und Darreichungsformen wie Geschirr, Gläser, Anrichten und vieles mehr in der Wechselwirkung. Wie aber beeinflusst das unser sinnliches Empfinden? Ich glaube nicht, dass man auch nur die ideale Temperatur für den vollkommenen Genuss spezifischer Gerichte schon vollständig versteht. In unserem Team arbeiten für solche Fragen auch Psychologen, Neurowissenschaftler – verschiedenste Disziplinen. Und viele verbindet das Kernthema multisensorische Integrationsprozesse.

———— **Herr Nakamura, wenn Genuss in Moleküle zerlegt wird und Geruch in Einzelkomponenten zerfällt, zerstört das für Sie den Zauber?**

**Nakamura:** Ganz im Gegenteil – genau da wird es doch spannend für uns in der Gastronomie. Auch wir müssen ja verstehen und erklären, was wir tun und wie wir den Gast möglichst intensiv erreichen. Bei aller technischen Betrachtung bleibt ja doch am Ende die Emotion – auch wenn ich weiß, dass es nur Moleküle sind, wird man schlussendlich immer diesen Zauber empfinden.

———— **Frau Büttner, Sie arbeiten daran, die Grenzen der technischen Sensorik zu verschieben.**

**Büttner:** Und nicht nur die ... Der Mensch ist ein multisensorisches System mit all seinen Stärken und Schwächen. Analog entwickeln wir auch die technischen Systeme multisensorisch. Dabei ist aber elementar, dass wir sowohl die Schwächen des Menschen wie auch der technischen Systeme kennen. Allein einen Riechsensor zu bauen, ist in den allermeisten Fällen nicht sinnvoll. Manchmal muss man sich auch Tricks ausdenken. Ein Beispiel: Beim Schokoladeconchieren wollen immer alle den perfekten Zeitpunkt treffen, an dem saure und unangenehm adstringierende Noten sich verlieren, aber die erwünschten Aromastoffe erhalten bleiben oder sich intensivieren und sich die optimale Balance aus Bitterkeit, Süße und Mundgefühl einstellt. Mancher wünscht sich da die elektronische Nase, die das Optimum zuverlässig bestimmt. Dabei kann es viel praktikabler sein, die Masse beim Conchieren zu beobachten und mit einem optischen oder mechanischen Sensor abzulesen, wann der Zeitpunkt erreicht ist. Und auch wenn viele das Problem gern mit künstlicher Intelligenz lösen wollen, braucht es vor allem menschlichen Verstand, das

Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse und davon, was am meisten »Sinn« hat.

\_\_\_\_\_ **Frau Büttner, Sie entwickeln neue Lebensmittel und suchen nach Alternativen zum Fleisch. Aufgewachsen sind Sie in Münchens Maxvorstadt.**

**Welches Verhältnis haben Sie zum Schweinebraten?**

**Büttner:** Ich liebe ihn! Allerdings muss er eine perfekte Kruste haben. Wenn schon Fleisch, dann ein richtig gutes! Und natürlich richtig gute Knödel.

\_\_\_\_\_ **Herr Nakamura, können Sie sich Ihre Küche ohne Fleisch vorstellen?**

**Nakamura:** In meiner Küche legen wir den gleichen Qualitätsmaßstab an eine Rote Bete wie an ein Rinderfilet – grundsätzlich also: ja. Ohne Fisch wäre schwieriger. Ohne Milchprodukte wäre schon sehr, sehr schwierig. Und ohne Ei? Das nimmt einfach eine monumentale Rolle in der Küche ein. Privat übrigens esse ich sehr wenig Fleisch. Deshalb tue ich mich auch schwer mit der Idee, unbedingt Fleisch aus pflanzlichen Rohstoffen nachbauen zu wollen. Dieser vegetarische Hackfleischburger ...

\_\_\_\_\_ **... ist Teufelswerk für Sie?**

**Nakamura:** Zumindest übersteigt er im Moment mein kulinarisches Vorstellungsvermögen. Aber ich gebe zu: Auch ein Smartphone hätte ich mir vor 20 Jahren nicht vorstellen können.

\_\_\_\_\_ **Sie glauben also an eine technische Entwicklung in der Ernährung?**

**Nakamura:** Nahrung aus Insekten finde ich sehr spannend, weil dieser Eiweißlieferant viele Probleme der Menschheit lösen könnte. Vielleicht müssen wir da nur eine Generation überspringen. So ganz rational sind wir da ja nicht: Warum geben wir für einen Hummer so viel Geld aus, während eine Heuschrecke bei vielen nur Abscheu hervorruft?

**Büttner:** Also wir haben gerade Kerbse als neues Projekt. Das ist ein Camembert aus Erbsenprotein.

\_\_\_\_\_ **Herr Nakamura, ich sehe, Sie zucken doch leicht zusammen!**

**Nakamura:** Als Koch greife ich einfach am liebsten zu den natürlichsten, den handwerklichsten Produkten, da stehe ich gerne im Kontakt mit den Produzenten in der Landwirtschaft, die mit ihrer Leidenschaftlichkeit und Wertschätzung die Dinge schaffen, die uns überzeugen. Der Erbsen-Camembert klingt eher wie Malen nach Zahlen.

**Büttner:** Sie sollten das nicht als Verdrängung sehen. Wir wollen einfach zusätzliche Nahrungsquellen erschließen.

**Nakamura:** Da haben Sie recht. Wir müssen differenzieren zwischen einer Genussküche und der Alltagsernährung, bei der wir oft unbewusst so viel Fleisch und tierische Produkte zu uns nehmen.

\_\_\_\_\_ **Da machen Sie mich neugierig, Herr Nakamura. 2013 der erste Stern, 2016 zwei Sterne,**

**zweimal »Koch des Jahres«, seit 2020 »Botschafter der japanischen Küche«: Was kocht dieser Mann im Alltag, wenn er daheim in seiner Küche am Herd steht?**

**Nakamura:** Zunächst einmal – ich koche sehr gerne, auch zu Hause und in meiner Freizeit. Einmal die Woche brauche ich klassisch gekochten japanischen Reis fürs Gleichgewicht, sonst kommen mein Yin und Yang in Unordnung. Dazu sehr viel Gemüse. Es ist ja leichter, gutes Gemüse zu bekommen als gutes Fleisch oder guten Fisch.

\_\_\_\_\_ **Und haben Sie einen Tipp, wenn es ganz schnell gehen muss?**

**Nakamura:** Rösten Sie Brot, schieben Sie einen Vacherin in den Ofen, dazu ein Salat – schon haben Sie ein tolles Gericht. Ach, bei der Gelegenheit, Frau Büttner, sehen Sie einen Weg, wie sich das Aroma von Tomatenrispen auf die Frucht übertragen lässt? Sie wissen ja, die sind giftig, aber der Duft ...

**Büttner:** Eine Mitarbeiterin an unserem Institut hat gerade analysiert, dass Tomaten geschmacksintensiver bleiben, wenn sie an den Rispen in den Handel kommen. Ich bin mir sicher, wir finden auch auf Ihre Frage eine Antwort.

\_\_\_\_\_ **Frau Büttner, Herr Nakamura, vielen Dank für das Gespräch. Ich sehe, hier entwickelt sich zwischen Praxis und Theorie des Genusses gerade der dritte Michelin-Stern für Herrn Nakamura. ■**



Duft- und Aromaprobe auf dem Tisch: Tohru Nakamura, Prof. Büttner und Josef Oskar Seitz beim Austausch.

### Begegnung mit Folgen

Eine Woche nach ihrem Gespräch mit dem Fraunhofer-Magazin hatten 2-Sterne-Koch Tohru Nakamura und Institutsleiterin Andrea Büttner schon die Zusammenarbeit bei fünf konkreten Sinnes-Projekten am Fraunhofer IVV in Freising vereinbart.

# 3x3 Fragen

## Der Mensch hört hochindividuell

**Bernhard Fiedler,**  
Fraunhofer IDMT in Ilmenau



### 1 Was reizt Sie persönlich besonders an der Digitalisierung der Sinne?

Als Akustiker reizt es mich besonders, das menschliche Hören zu verstehen und in Modellen zu digitalisieren. Denn je genauer dieses Modell ist, desto realitätsnäher kann eine digitale Klangszene wiedergegeben werden.

### 2 Auf welches Ergebnis hoffen Sie?

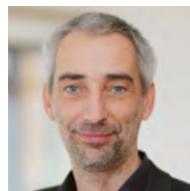
Ich hoffe, dass wir in Zukunft eine künstliche akustische Immersion erreichen können, die von der Realität kaum noch zu unterscheiden ist. Insbesondere wird dies dabei helfen, alltägliche Lärmquellen besser simulieren, verstehen und schließlich modifizieren zu können. Denn weniger Schallemissionen schützen nicht nur die Umwelt, sondern auch die Gesundheit.

### 3 Was macht die menschliche Wahrnehmung im Vergleich zur Technik so einzigartig – und wo wird die Technik ihre Stärken ausspielen?

Die menschliche Wahrnehmung ist nicht nur hoch anpassungsfähig, sondern auch hochindividuell. Zum Beispiel im Hinblick auf Geräusche: Was für den einen Menschen angenehm klingt, kann für einen anderen bereits nervig wirken. An dieser Stelle glaube ich, dass beispielsweise KI-basierte Technologien alltägliche Dinge objektiver bewerten können, als es Menschen tun. ■

## Intelligente Ohren für unseren Alltag

**Dr. Jens-E. Appell,**  
Fraunhofer IDMT in Oldenburg



### 1 Was reizt Sie persönlich besonders an der Digitalisierung der Sinne?

Für mich als Hörforscher spielt insbesondere die Unterstützung von Menschen eine große Rolle. Der besondere Reiz liegt dabei darin, den durch die Evolution hervorragend entwickelten Hörsinn des Menschen durch Technik zu unterstützen. Umgekehrt gelingt es uns aber auch, Maschinen das Hören beizubringen, damit sie sich selbst und ihre Umgebung akustisch erfassen und zum Beispiel Fehlfunktionen erkennen oder sich per Sprache bedienen lassen.

### 2 Auf welches Ergebnis hoffen Sie?

Ich bin überzeugt, dass KI-unterstützte Hörsysteme die Kommunikation zwischen Menschen und unsere Interaktion mit unserer Umwelt wesentlich verändern werden und solche »intelligenten Ohren« in Zukunft einen festen Bestandteil unseres Alltags darstellen – sei es in der Industrie, der Mobilität, im Gesundheitswesen oder im Privaten. Sie werden Sprache oder Gefahrensituationen akustisch erkennen und unerwünschte Geräusche ausblenden. Sie werden unsere Umgebung und unsere Gesundheit erfassen und uns entsprechend warnen und über das, was uns interessiert, informieren.

### 3 Was macht die menschliche Wahrnehmung im Vergleich zur Technik so einzigartig – und wo wird die Technik ihre Stärken ausspielen?

Der Hörsinn ist unter unseren Sinnen vielleicht der Sinn, der am unmittelbarsten in der Lage ist, Emotionen bei uns auszulösen. Der Mensch nimmt nicht nur die Sprache wahr, sondern unterscheidet auch Stimmen, Stimmungen, Zwischentöne. Emotionale Verbindung wird uns Technik auf sehr lange Sicht nicht vermitteln können. Durch den Einsatz von KI ist sie jedoch immer besser in der Lage, unsere Wahrnehmung zu unterstützen, unangenehme Ereignisse, wie Lärm, zu vermeiden und wichtige Ereignisse für uns in den Fokus zu rücken. ■



Nichtraucher Sebastian Hettenkofer, Fraunhofer IIS, begeistert sich mehr für den Rauch und seine Zusammensetzung als für die Zigarre.

# Wenn Forschung »im Laden« steht

**Sebastian Hettenkofer,**

Fraunhofer IIS mit Hauptsitz in Erlangen

## **1 Was reizt Sie persönlich besonders an der Digitalisierung der Sinne?**

Ich habe mich in meiner Forschung schon viele Jahre damit beschäftigt, wie man die emotionale oder affektive Wirkung von Sinneseindrücken erfassen kann. Dabei habe ich insbesondere an Verfahren zur Mimikanalyse mitgewirkt. Hier ging es unter anderem darum, Maschinen empathisch werden zu lassen, sodass sie sich an die Gefühle des Menschen anpassen können. Als Forscher bin ich dann natürlich auch neugierig geworden: Wie verarbeitet ein Mensch eigentlich verschiedene Sinneseindrücke? Und wie kann ich das mit Methoden der künstlichen Intelligenz nachbilden?

## **2 Auf welches Ergebnis hoffen Sie?**

Ich arbeite in der angewandten Forschung und habe in der Vergangenheit schon an einigen erfolgreichen Produktentwicklungen mitgewirkt. Es hat für mich einen ganz besonderen Reiz, wenn das Ergebnis jahrelanger Forschung und Entwicklung dann sozusagen »im Laden steht«. Ähnliches erhoffe ich mir von unserer Forschung an der Digitalisierung der Sinne: Wenn wir es z. B. schaffen, einige der spektakulären Eigenschaften unseres Geruchssinns in einen KI-gestützten Sensor zu überführen. Der könnte dann einen Zimmerbrand nicht nur früher erkennen, sondern auch die Brandart unterscheiden, sodass die passenden Löschmittel zum Einsatz kommen.

## **3 Was macht die menschliche Wahrnehmung im Vergleich zur Technik so einzigartig – und wo wird die Technik ihre Stärken ausspielen?**

Die Stärken des Menschen sind Anpassungsfähigkeit und Spezialisierung auf das, was für ihn individuell wichtig ist (wie zum Beispiel Sicherheit). Die Technik hingegen punktet durch Objektivität und Kontinuität und ist nicht zwingend auf das begrenzt, was für den Menschen unmittelbar wichtig oder erfassbar ist. Das Ziel ist natürlich, diese Stärken miteinander zu kombinieren. ■

# Ohren auf!

Auf den Spuren des Hörens: Wie akustische Wahrnehmung unser Leben sicherer und komfortabler macht – und sogar ganz neue Dimensionen erschließen kann.

Von Moritz Schmerbeck



Drohnen­gefahr beim Lande­anflug: Für die üblichen Radar­geräte sind die kleinen Flug­geräte kaum zu erkennen.

## Wenn Drohnen drohen

Mehr als 120 Behinderungen durch Drohnen an deutschen Flughäfen im Jahr 2019. Immer öfter werden Flughäfen gesperrt, entfallen Starts, werden Landungen verschoben. Für herkömmliche Radargeräte sind die kleinen Fluggeräte kaum zu erkennen. Umso wichtiger werden neue Ansätze, den Luftraum über Flughäfen zuverlässig zu überwachen – um Gefahren für Flugzeuge und Fluggäste zu minimieren. Das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg hat ein mobiles Sensorsystem entwickelt, das mit acht Mikrofonen sogar dreidimensional Geräusche lokalisieren kann – für den Einsatz an Flughäfen.

Die Erkennung basiert auf dem »akustischen Fingerabdruck«, einem spezifischen Muster im akusti-

schon Signal, das von verschiedensten Drohnenmodellen ermittelt und in einer Datenbank abgelegt wird. Für die zuverlässige Identifikation reichen 25 Stunden Tonaufnahmen verschiedener Drohnen aus, um selbst zuvor nicht »gehörte« Drohnen zu erkennen.

**Die größte Herausforderung** für die Forschenden am Institutsteil Hör-, Sprach- und Audiotechnologie sind Störgeräusche – etwa der Lärm der startenden und landenden Flugzeuge. Für die Lokalisation der Drohnen in Echtzeit nutzen die Sensoren den Effekt, dass Schall in der Luft träge ist und somit an den unterschiedlichen Mikrofonen zeitversetzt ankommt. So lässt sich die exakte Position im Raum berechnen. ■

## Wer kann noch dem gesprochenen Wort glauben?

Fake-News sind aktuell eine große Gefahr. Ist die Audioaufnahme echt? Um Manipulationen zu entlarven, nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT die forensische Audioanalyse: Spezielle Verfahren erkennen Spuren, die durch Aufnahme und Veränderungen verursacht werden, und können damit Aussagen über Entstehung und Bearbeitung der Inhalte prüfen.

**So enthalten manche Tonaufnahmen** beispielsweise ein Brummen, das charakteristischen Schwankungen des elektrischen Stromnetzes über die Zeit unterliegt. Weist dieses Brummen »Sprünge« auf oder passen seine Eigenschaften nicht zum behaupteten Aufnahmezeitpunkt, so sind dies Hinweise für Veränderungen und Ungereimtheiten. Bei der Suche nach Ver-

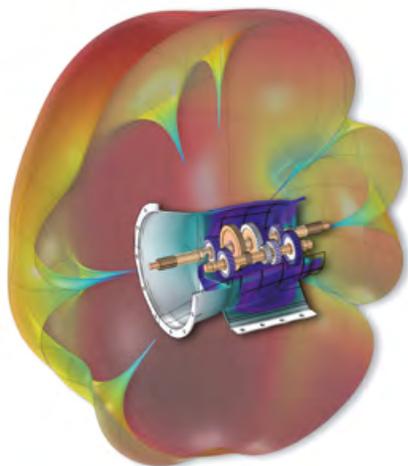
änderungen setzt das Fraunhofer IDMT zusätzlich auf Werkzeuge zur Erkennung von Teilüberlappungen. Bei Fakes wird gern »recycelt«. Durch die automatischen Verfahren des Fraunhofer IDMT lassen sich kleinste Teilstücke, die bereits anderswo »gehört« wurden, schnell lokalisieren.

»Letztendlich ist die forensische Audioanalyse ein Katz-und-Maus-Spiel«, fasst Patrick Aichroth, der das am Fraunhofer IDMT zuständige Expertenteam leitet, zusammen. »Es gibt zahllose »Angriffsvarianten« und auf neue oder verbesserte Detektoren kommen früher oder später wieder verbesserte Angriffe, die die Entwicklung neuer Detektoren notwendig machen.«

Im Forschungsprojekt Digger, das gemeinsam mit der Deutschen Welle und der griechischen Firma ATC durchgeführt wird, werden die Audioforensik-Verfahren aber auch erstmalig für den journalistischen Einsatz angepasst und in die Content-Verifikations-Plattform TrulyMedia integriert. Künftig steht damit Journalistinnen und Journalisten ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Chancen auf News ohne Fake steigen. ■



**Webseite zu Digger:** <https://digger-project.com>



## Schöner shoppen dank Auralisation

Corona-Zeiten sind Rekordzeiten im Online-Handel. Für den Kunden wird der Internet-Kauf immer bequemer – und inzwischen auch immer sinnlicher. Damit Produkte größtmöglichen Anklang finden, stellt sich auch die Frage nach dem Sound. Dafür entwickelt das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Ilmenau eine revolutionäre Softwarelösung.

**Ein authentisches Klangerlebnis** kreieren die Fraunhofer-Forschenden, indem sie räumliche Simulationsdaten mit Messdaten in einem virtuellen Raum kombinieren. Diese Hörbarmachung heißt Auralisation. So können Produkte oder Komponenten in verschiedenen

Umgebungen akustisch erlebt werden. Dem Fraunhofer IDMT gelingt es, ein realistisches 3D-Audioerlebnis zu schaffen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Wiedergabeverfahren kann das System die akustische Richtwirkung eines virtuellen Objekts abbilden. Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler erzeugen den Ton richtungs- und wahrnehmungsgerecht auf Basis von Simulations- und Messdaten.

Außerdem beschleunigt die neue Software VIPRA den Entwicklungsprozess. Virtuelle sowie reale Prototypen können anhand ihres Produktklangs verständlich beurteilt und Varianten leicht miteinander verglichen werden. »Mit VIPRA sind wir jetzt zum ersten Mal in der Lage, numerische Simulationsdaten akustisch erlebbar zu machen – lange bevor ein realer Prototyp entsteht«, erklärt der verantwortliche Experte am Fraunhofer IDMT, Bernhard Fiedler. »Unser Werkzeug ist damit die perfekte Ergänzung für die virtuelle Produktentwicklung. 3D wird damit sinnlich erlebbar für Auge und Ohr.« ■



**Der realistische Klang zahlreicher virtueller Alltagsgeräte:** <https://auralization.idmt.fraunhofer.de>

Ein neues Produkt dreidimensional schon bei der Entwicklung hören: Das ist das Ziel von VIPRA.

## Kollegen vernetzen

»Gott, schenke uns Ohrenlider!« So lässt Kurt Tucholsky seufzen in seinem Roman »Schloss Gripsholm. Eine Sommergeschichte«. Tatsächlich kann der Mensch die Augen schließen, den Blick abwenden. Das Ohr nimmt immer auf – bis jetzt. Das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg entwickelt mit KI-gestützter Technologie einen intelligenten Gehörschutz in Ohrknopfgröße.

Quelltrennungsalgorithmen sind bereits in der Lage, Lärm von Sprache zu unterscheiden. Ein Hearable soll dann Sprache und Umgebungsgeräusche so aufeinander abstimmen, dass das gesprochene Wort verständlich bleibt und die Nebengeräusche hörbar sind, aber nie zu laut. Für natürlichen Klang im Ohr wird der Schall auch richtungsecht wiedergegeben. Damit bleibt die Orientierung im Raum vorhanden.

Die Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sehen den Einsatzbereich unter anderem an Lärm Arbeitsplätzen – zum Beispiel in lauten Werkhallen. Dabei kann das Hearable Kolleginnen und Kollegen miteinander vernetzen, die beispielsweise auf verschiedenen Seiten einer Maschine stehen und sich eigentlich gar nicht hören könnten. ■

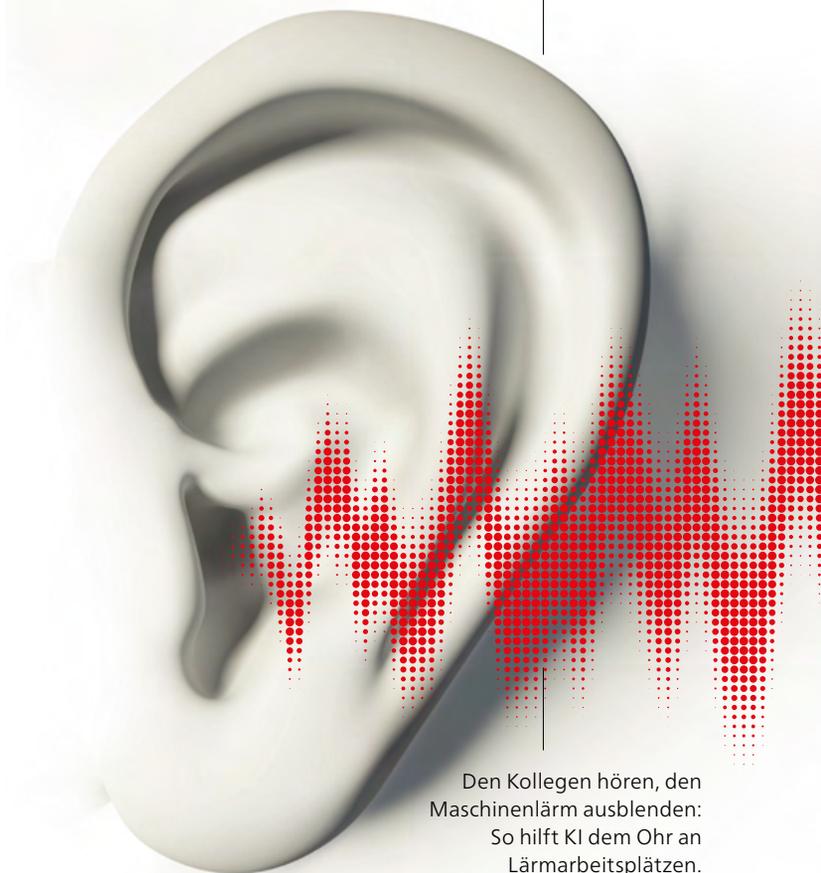
## Fernsehen besser verstehen

Es ist Sonntag. Es ist »Tatort«. Es ist Rekordquote. Gut ein Fünftel der Zusehenden tut sich als Zuhörer schwer, weil ihr Hörvermögen beeinträchtigt ist. Ein Dauerthema bei Beschwerden an die Fernsehsender ist darüber hinaus, dass Musik und Hintergrundgeräusche zu laut und die gesendete Sprache zu leise seien. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS haben daher eine KI-basierte Lösung entwickelt, die Dialoge verständlicher macht – und dieses Dauerergebnis beim Fernsehen behebt.

Dazu untersucht ein Algorithmus das Audiomaterial und unterscheidet zwischen Sprache sowie Ge-

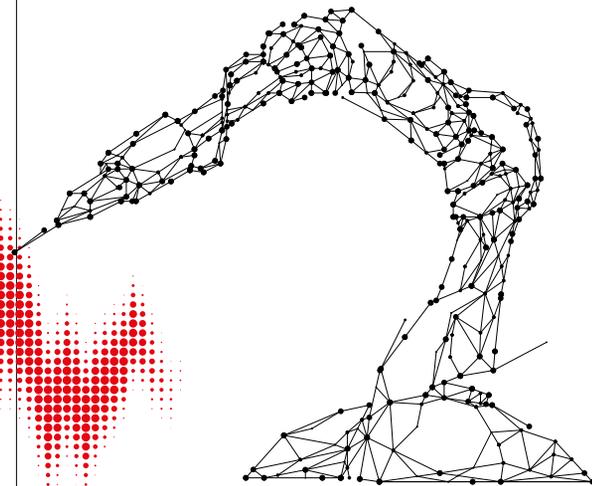
räuschen, Ambiente und Musik. Die KI erkennt, wann gesprochen wird, trennt Dialog und Hintergrundgeräusche und senkt Letztere ab, wenn sie zu laut sind. In einer Studie in Zusammenarbeit mit einer öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalt wurden 2000 Zuschauerinnen und Zuschauer zu der neuen verständlicheren Tonmischung befragt.

**Selbst die jüngeren Teilnehmenden** fanden die Möglichkeit gut, dass zwischen zwei Tonspuren (normaler Mix und Dialog+) gewählt werden konnte. 46 Prozent aller Befragten präferierten die verständlichere Tonspur, nur etwa ein Fünftel die Originalmischung. ■



Den Kollegen hören, den Maschinenlärm ausblenden: So hilft KI dem Ohr an Lärm Arbeitsplätzen.

## Wenn Roboter Ohren bekommen



## Wie das Auto das Martinshorn hört

Beim autonomen Fahren dirigieren Computer ein ganzes Orchester an Sensorik – neu an der ersten Geige: die Akustik. Moderne Autos sehen fast alles – mit sechs Kameras, vier Radargeräten und einem Lidar, das mit Lichtstrahl statt mit Radarstrahlen arbeitet.

Eine schnelle Reaktion kann Menschenleben retten. Die KI-basierte akustische Ereigniserkennung des Fraunhofer IDMT hilft dabei, verschiedenste Schallereignisse zu lokalisieren.



Schweißen ist schweißtreibend. Diese anstrengende Arbeit wird zunehmend automatisiert erledigt – im Karosseriebau der Autoindustrie liegt der Automatisierungsgrad bereits bei fast 100 Prozent. Aber: Eine erfahrene Schweißerin oder ein erfahrener Schweißer hört bereits beim Schweißvorgang, ob Naht oder Schweißpunkt gelungen sind. Diese akustische Rückmeldung fehlt den Robotern – bisher.

Die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Ilmenau arbeiten an einer »sinnreichen« Abhilfe. Mit der Etablierung einer künstlichen Intelligenz auf Basis akustischer Sensordaten und maschineller Lernverfahren sind die Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler dabei Vorreiter – vor allem, wenn es um Luftschalldaten geht.

In dem vom BMBF geförderten Projekt AKoS wurde beispielsweise ein Mikrofon am Arm des Schweißroboters in geringem Abstand zur Elektrode montiert. Akustische Auffälligkeiten werden sofort erkannt, der Fertigungsvorgang kann bei Bedarf gestoppt und korrigiert werden.

Die Forschenden am Fraunhofer IDMT testeten die Technologie auch schon zur Endkontrolle an elektrisch verstellbaren Fahrzeugsitzen, um verbaute Serвомotoren zerstörungsfrei zu prüfen. ■

Sie hören nichts. Sogar die Insassen nehmen mit steigendem Komfort und immer besserer Schalldämmung akustisch immer weniger von der Umgebung wahr.

Um das »hörende Auto« zu realisieren, entwickeln Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT in Oldenburg KI-basierte Technologien zur akustischen Ereigniserkennung. Ein Sensor soll im Bruchteil einer Sekunde Umgebungsgeräusche wahrnehmen, einordnen und lokalisieren. Bei einer herannahenden Sirene würde dies bedeuten, dass zukünftig autonome Fahrzeuge eigenständig Platz machen. Selbst bei durch Menschenhand gelenkten Fahrten macht das System Sinn: Die von der Außenwelt Isolierten könnten durch einen Hinweis im Head-up-Display frühzeitig aufmerksam gemacht werden.

**Das KI-basierte akustische Sensorsystem** der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institutsteil Hör-, Sprach- und Audiotechnologie setzt sich aus akustischen Sensoren, Recheneinheiten und modularen Softwarekomponenten zusammen. Neben dem Martinshorn könnten auch spielende Kinder am Straßenrand, ein klingelnder Radfahrer oder ein herannahender Zug an einem unbeschränkten Bahnübergang detektiert werden. ■

## Stimme aus der Wirtschaft



Peter Körte, 45, soll bei Siemens die Strategien für die Digitalisierung und das Internet der Dinge vorantreiben.

# Willkommen in einem neuen Zeitalter!

Das Internet der Dinge hat riesiges Potenzial – braucht allerdings auch Datensouveränität. Sie ist die Voraussetzung, um Wissens- und Datensilos kontrolliert zu öffnen.

Ein Standpunkt von Peter Körte, Strategie-Chef der Siemens AG

**D**ie digitale Transformation in den 2010er-Jahren hat an erster Stelle Menschen verbunden. In den 2020er-Jahren beginnt das Zeitalter des Internets der Dinge: intuitive Gebäude, die auf die Bedürfnisse ihrer Bewohner reagieren. Autonome Fahrzeuge, die aus einem Meer von Daten schöpfen können. Kritische Infrastrukturen wie dezentrale, intelligente Netzwerke, die selbstständig erneuerbare Energiequellen managen werden.

**Die Verschmelzung von physischer und digitaler Welt** birgt riesiges Potenzial. Bereits heute sind Milliarden von Geräten miteinander verbunden. Sie erzeugen einen wertvollen Datenpool, der in vielen Bereichen noch ungenutzt ist. Gleichzeitig entstehen neue Formen der Kollaboration von Partnern (wir nennen das Ökosysteme) und ermöglichen völlig neue Geschäftsmodelle. Großes Potenzial liegt auch in den Bereichen Effizienzsteigerung, Nachhaltigkeit oder Energieeinsparung. So kann zum Beispiel die Transportkapazität im öffentlichen Verkehr um 20 Prozent erhöht werden, ohne dass hierfür neue physische Strukturen gebaut werden müssen!

Allerdings sehe ich auch Herausforderungen. Etwa 60 Prozent der Industrieunternehmen haben noch keine industriellen Technologien für das Internet der Dinge in nennenswertem Maß implementiert. Traditionell sind in vielen Bereichen die Fertigungs-IT und das Internet noch getrennt. Die Frage »Was passiert mit meinen Daten, wenn ich sie teile?« erzeugt viel Unsicherheit, wie die kürzlich erschienene Studie des BDI »Datenwirtschaft in Deutschland« zeigt. Neben einer unbedingten Datensicherheit kommt hier die Frage der Datensouveränität ins Spiel. Datensouveränität bedeutet im Endkunden-Bereich, dass jeder Mensch als Konsument aktiv und selbstbestimmt die Nutzung seiner personenbezogenen Daten steuern kann. Im B2B-Geschäft bedeutet dies analog, dass Unternehmen durch ein selbstbestimmtes Management über Zugang und Nutzung ihrer Daten verfügen, also entscheiden können, wer zu welchem Zweck welche Daten bekommt.

Eine gute Balance zwischen Datensouveränität der Beteiligten und Praktikabilität in der Kooperation ist nicht einfach herzustellen.

»Die deutsche und europäische Wirtschaft kann ihre Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit entscheidend stärken.«

## Peter Körte

- ▶ Seit Februar 2020 Chief Strategy Officer der Siemens AG und seit Oktober 2020 zusätzlich Chief Technology Officer.
- ▶ Begann seine Laufbahn bei Siemens 2007 in der Konzernstrategie. 2011 wechselte er in die Medizintechnik, wo er in mehreren leitenden Funktionen in der Diagnostik-Sparte tätig war.
- ▶ Diplom-Wirtschaftsingenieur der Universität Karlsruhe, Promotion in Strategie und Internationalem Management an der WHU Otto Beisheim School of Management und ein Abschluss des General Management Programs der Harvard Business School.

## Die vitalen Punkte:

### 1. Infrastruktur

Eine robuste Infrastruktur muss bereitgestellt werden, mit höchsten Anforderungen an die Datensicherheit (siehe auch unsere »Charter of Trust«-Initiative).

### 2. Datensouveränität

Das Mittel der Wahl sind Verträge zwischen den Kooperationspartnern. Sie müssen den Interessen aller und oft sehr komplexen industriellen Rahmenbedingungen zur Datennutzung angemessen Rechnung tragen. Siemens arbeitet nach dem Prinzip eines verantwortungsvollen Datenmanagements. So erarbeiten wir auf unserer industriellen IoT-Plattform gemeinsam mit vielen Partnern einheitliche Vertragsvorlagen für Shared Data Pools.

### 3. Rechtliche und politische Rahmenbedingungen

Ich begrüße grundsätzlich die jüngsten politischen Initiativen der Europäischen Kommission und der Bundesregierung, um die Nutzung von Daten zu verbessern und dafür unterstützende Rahmenbedingungen zu schaffen. Hier gilt es, die Akteure zu befähigen und Rechtsunsicherheiten abzubauen, beispielsweise durch zu hohe Hürden für B2B-Datenkooperationen im Kartellrecht oder bei der Anonymisierung und Pseudonymisierung. Auch die Schaffung industrieübergreifender Infrastrukturen und Ökosysteme, wie in der europäischen Initiative GAIA-X, sind richtige Schritte.

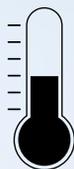
Wenn Industrie, Politik und Gesellschaft hier klug und gemeinsam handeln, dann kann die deutsche und europäische Wirtschaft ihre Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit entscheidend stärken. Und dabei geht es nicht allein um wirtschaftliche Prosperität, sondern um Nachhaltigkeit, Effizienz und Ressourcenschonung! Dazu müssen Wissens- und Datensilos kontrolliert geöffnet werden, sodass alle industriellen Partner in Ökosystemen gemeinsam Wert und Innovation kreieren können. Datensicherheit und Datensouveränität aller Beteiligten sind die Grundlage dafür, dass dies geschehen kann. Das Vertrauen darin muss wachsen und mit den richtigen Entscheidungen verdient werden! ■



# Der Schatz, der in der Kälte ruht

Die Umweltprobenbank des Bundes dokumentiert, wie sich die Chemikalienbelastung in der Umwelt im Laufe der Zeit verändert – in Pflanzen, Tieren und auch Menschen.

Von Christine Broll



# -130°

Kälte herrschen in den 70 Kryotanks zur Einlagerung der Umweltproben.

**E**s gibt sie noch, die guten Nachrichten. Die Bleibelastung der Menschen in Deutschland hat seit 1985 um 87 Prozent abgenommen. Das in der Umwelt nachweisbare Quecksilber sinkt kontinuierlich und die Belastung der Elbfische mit dem giftigen Beiz- und Holzschutzmittel Hexachlorbenzol ist seit den 1990er-Jahren um 90 Prozent zurückgegangen. »Bei Umweltgiften, deren Anwendung gesetzlich reguliert wurde, geht die Belastung deutlich zurück«, weiß Dr. Heinz Rüdel vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME. Die Daten für die guten Nachrichten stammen aus Studien der Umweltprobenbank des Bundes. Sie liefert dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit wissenschaftliche Fakten für politische Entscheidungen. Denn es gibt beim Schutz der Umwelt vor Chemikalien noch viel zu tun.

In Reih und Glied stehen die über 70 runden Edelstahl tanks in den Lagerhallen des Fraunhofer IME in Schmallenberg im Sauerland. Hier liegen bei minus 130 Grad Celsius die Umweltproben der Umweltprobenbank. Über 400 000 Probengläschen lagern in den Kryotanks in Schmallenberg, mit Proben, die in der Umwelt von Pflanzen, Tieren und im Boden gesammelt wurden. Ausgestattet mit dicken Spezialhandschuhen und Gesichtsschutz steigt Sonja Uhlig auf eine Leiter, hebt den Deckel eines Tanks und zieht ein langes, schmales Metallgestell mit Probenfläschchen heraus. Kalter Nebel steigt auf und an dem Gestell bildet sich sofort eine weiße Reifschicht. »Die Proben lagern in der Gasphase über flüssigem Stickstoff, der sich am Boden des Tanks befindet«, erklärt die chemisch-technische Assistentin. »Dadurch bleiben sie in tiefer Kälte unverändert erhalten.«

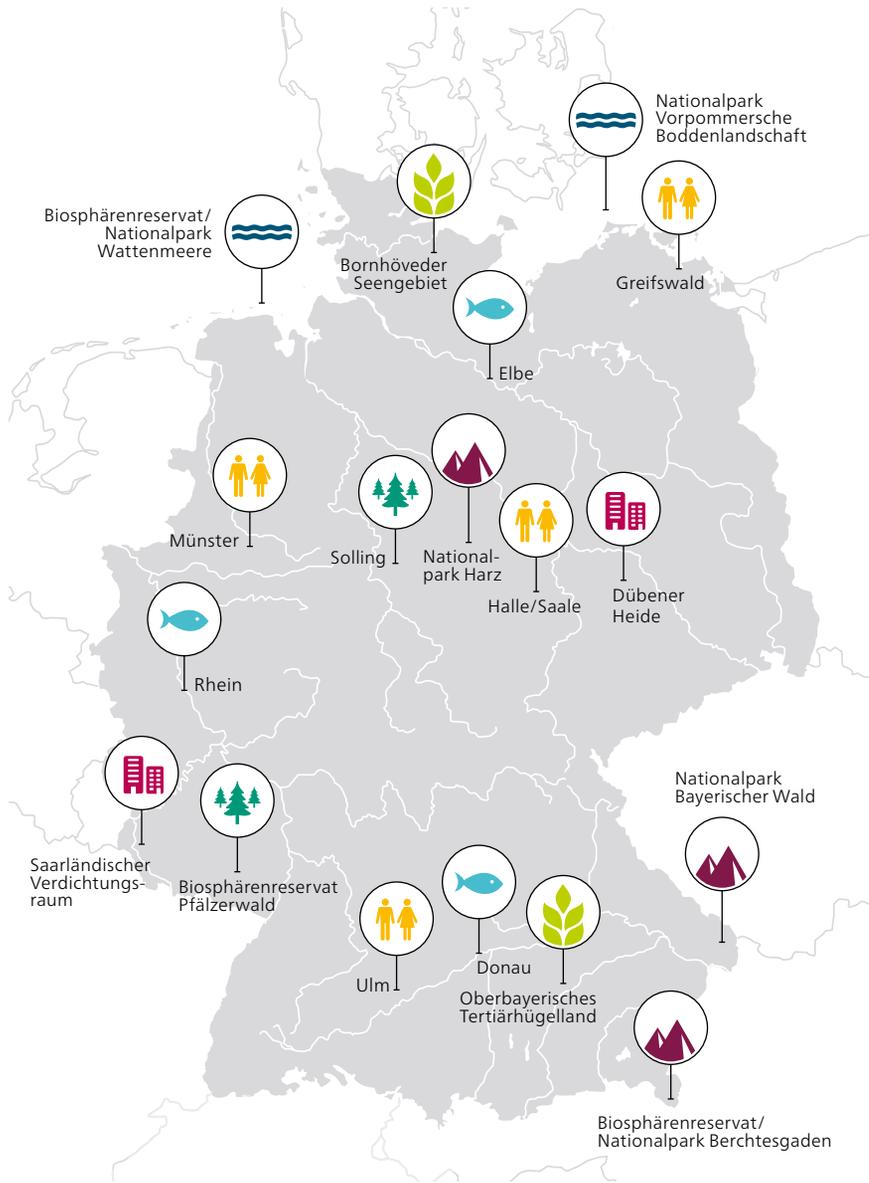
In Münster hat die Umweltprobenbank noch ein zweites Archiv. Dort ruhen mehr als 300 000 Humanproben in Form von Vollblut, Blutplasma und Urin. Dieser Teil der Umweltprobenbank wird vom Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT betreut und befindet sich in einem ehemaligen Sanitätsbunker der Bundeswehr.

Für wissenschaftliche Studien ist die Umweltprobenbank ein einmaliger Schatz. Denn sie erlaubt den Blick in die Vergangenheit, bis zurück ins Jahr 1985. Durch die Analyse der Proben wird sichtbar, wie sich die Chemikalienbelastung im Laufe der Zeit in der Umwelt und im Menschen verändert.

### Umweltmonitoring seit 1985

Die Idee, Umweltproben zu archivieren, entstand bereits in den 1970er-Jahren, als in Deutschland Menschen gegen Atomkraft, das Waldsterben und Gewässerverschmutzungen protestierten. Man ►

# Probennahme-Gebiete in Deutschland



## LEGENDE

- |  |                                |  |                                     |
|--|--------------------------------|--|-------------------------------------|
|  | Marines Ökosystem              |  | Forst-Ökosystem                     |
|  | Fließgewässer-Ökosystem        |  | Agrar-Ökosystem                     |
|  | Standorte für Humanprobenahmen |  | Naturnahes terrestrisches Ökosystem |
|  |                                |  | Ballungsraumnahes Ökosystem         |

Quelle: Umweltbundesamt

»Die Zeitreihe in Münster ist die längste und älteste der Umweltprobenbank. Sie deckt ohne Unterbrechung einen Zeitraum von über 40 Jahren ab.«

Dr. Dominik Lermen,  
Leiter der Arbeitsgruppe Biomonitoring  
und Biobanken des Fraunhofer IBMT.

wollte ein verlässliches Instrument zum kontinuierlichen Umweltmonitoring schaffen.

Nach intensiven Planungen und Pilotstudien seit Ende der 1970er-Jahre startete Anfang der 1980er-Jahre der Aufbau der Umweltprobenbank des Bundes. Seit 1985 wird sie als Daueraufgabe des Bundes vom Umweltbundesamt koordiniert, das Aufträge zum Sammeln, Archivieren und Charakterisieren der Proben an verschiedene Institutionen vergibt. Die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren beiden Instituten IBMT und IME ist hierbei bereits ein langjähriger Begleiter.

Die Probenarten und Sammelstellen für den Umweltbereich sind so ausgewählt, dass sie den Zustand der Umwelt in ganz Deutschland möglichst genau abbilden. Gesammelt wird in der Nähe von Städten genauso wie in Naturschutzgebieten. Die Sammelstellen sind seit Beginn fest definiert, damit die Ergebnisse der Analysen vergleichbar sind. An Nord- und Ostsee werden Blasentang, Miesmuscheln und die Eier von Silbermöwen beprobt. An Land gilt das Interesse Buchenblättern, Fichtentrieben und Regenwürmern. In Flüssen und Seen beprobt man Dreikantmuscheln und Brassen, karpfenartige Weißfische.

Das Sammeln der Umweltproben hat die Projektgruppe Umweltprobenbank der Universität Trier übernommen. Das Team um Prof. Martin Paulus und Prof. Roland Klein präpariert die Proben im mobilen Labor und friert sie noch vor Ort über flüssigem Stickstoff ein. So werden sie ans Fraunhofer IME nach Schmallenberg gebracht, wo sie ohne Unterbrechung der Kühlkette zerkleinert und in einer speziellen Kryomühle zu feinem Pulver vermahlen werden. Abgefüllt in kleine Probengefäße werden sie dann in die Edelstahl-

tanks versenkt. Jedes Jahr kommen rund 12 000 neue Proben dazu.

## Sammlung von Humanproben mit dem mobilen Labor

Ähnlich viele neue Humanproben ergänzen Jahr für Jahr das Probenlager der Umweltprobenbank in Münster. Seit 2012 ist das Fraunhofer IBMT mit der Sammlung der Proben beauftragt und hat für diesen Zweck ein spezielles mobiles Sicherheitslabor konzipiert: einen 20 Meter langen Sattelschlepper, in dem neben der Durchführung der Blutentnahme und der Erfassung des Zahnstatus auch die Vollblut-, Blutplasma- und Urinproben sofort charakterisiert, verarbeitet und über flüssigem Stickstoff eingefroren werden. Seit 2020 können vom IBMT sogar bis zu 52 000 Einzelproben pro Jahr standardisiert für analytische Zwecke generiert werden. Hierzu wurden Prozesse teilautomatisiert und digitalisiert. Gesammelt wird einmal pro Jahr an vier Standorten: in Münster, Halle an der Saale, Greifswald und Ulm. Probanden sind mindestens 120 junge Erwachsene, in der Regel Medizinstudentinnen und -studenten. Sie bringen zum Beprobungstermin eine über 24 Stunden gesammelte Urinprobe mit und füllen im Vorfeld dazu online einen Fragebogen aus, in dem sie unter anderem über Ernährungsverhalten, Medikamenteneinnahme und Wohnsituation Auskunft geben. Nach der Blutabnahme untersucht ein Zahnarzt den Zahnstatus, um Zahnspangen und Füllungen zu protokollieren. »Füllmaterialien wie zum Beispiel Amalgam stellen eine Schadstoffquelle dar und müssen daher bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden«, erklärt Dr. Dominik Lermen, Leiter der Arbeitsgruppe Biomonitoring und Biobanken des Fraunhofer IBMT.

## Auch Corona hat die Proben nicht gestoppt

Nachdem im vergangenen Jahr die Probensammlungen in Halle, Greifswald und Ulm wegen der Corona-Pandemie ausfallen mussten, startete die Sammlung in diesem Jahr Ende Januar in Münster mit einem umfassenden Sicherheitskonzept. »Wir haben im mobilen Labor die Lüftung so ertüchtigt, dass sie den Vorgaben des Robert-Koch-

Instituts entspricht«, berichtet Markus Michel, Verantwortlicher für Labortechnologie und mobile Einheiten am IBMT. Außerdem sorgten eine Entzerrung des Terminplans, Trennwände und Antigen-Schnelltests für die Sicherheit von Personal und Probanden. Dominik Lermen ist sehr froh, dass die Probennahme in Münster so stattfinden konnte. »Die Zeitreihe in Münster ist die längste und älteste der Umweltprobenbank. Sie deckt ohne Unterbrechung einen Zeitraum von über 40 Jahren ab.«

Genutzt werden die Proben der Umweltprobenbank vor allem für Studien, die das Umweltbundesamt in Auftrag gibt und die wissenschaftlich publiziert werden. Ein Augenmerk liegt unter anderem auf der retrospektiven Untersuchung von Ersatzstoffen für bereits gesetzlich regulierte Chemikalien, wie zum Beispiel Weichmacher. »Anhand unserer Proben sieht man, dass die Belastung neu eingeführter Weichmacher im Menschen steigt. Da man die gesundheitlichen Auswirkungen noch nicht genau kennt, muss die Entwicklung in der Exposition des Menschen gegenüber diesen Stoffen weiterhin genau untersucht werden«, betont Dominik Lermen.

Sorgen macht ihm auch die steigende Belastung der Menschen durch das Pflanzenschutzmittel Glyphosat. In einer rund 400 Urinproben umfassenden Stichprobe konnte für den Untersuchungszeitraum von 15 Jahren eine Zunahme der Häufigkeit der Glyphosatbelastung festgestellt werden. 2013 ließ sich der Stoff im Urin von knapp 60 Prozent der studentischen Probandinnen und Probanden nachweisen.

Ähnlich wie bei den Weichmachern liegt der Fall bei den perfluorierten Verbindungen, die unter anderem zur Imprägnierung von Outdoorjacken oder zur Beschichtung von Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden. »Nach dem Verbot einiger dieser Substanzen sehen wir, dass die Konzentration der Ersatzstoffe in den Umweltproben ansteigt«, berichtet Heinz Rüdel. »Das ist wie ein Katz-und-Maus-Spiel.« Rüdel hofft, dass dieses Spiel bald beendet sein wird. Denn die EU überlegt, die perfluorierten Verbindungen, die wegen ihrer Persistenz auch als Ewigkeitschemikalien bezeichnet werden, insgesamt zu regulieren. Das wäre ein weiterer Erfolg auf politischer Ebene, zu dem die Umweltprobenbank mit ihren Daten beigetragen hat. ■

**87 %**  
weniger  
**Bleibelastung,**  
seit 1985 sinkt der  
Wert kontinuierlich.



Feinarbeit für die Ewigkeit:  
Proben, zerkleinert und tiefgefroren.

# »Eine enorm spannende Reise«



Quantencomputing hierzulande zu etablieren, gilt als deutsches Mondlandungsprogramm. Nun hat der erste universelle Quantencomputer für Forschung und Industrie in Deutschland seinen Betrieb aufgenommen – initiiert von Fraunhofer gemeinsam mit IBM.

Von Mandy Bartel

Mit seinem Glasgehäuse aus Mailand macht der IBM Q System One auch optisch was her. Um mit ihm zu arbeiten, braucht man nur einen Webbrowser und einen Nutzervertrag mit Fraunhofer.

**A**ls Neil Armstrong sieht sich Jürgen Winkler nicht, sondern vielmehr als »Teil eines Teams auf einer enorm spannenden Reise«. Der IT-Leiter am Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS hat als erster Fraunhofer-Mitarbeiter mit dem IBM Q System One, dem ersten seiner Art in Deutschland, gearbeitet und ihn seit Jahresanfang gründlich getestet. Und doch ist dies einer der kleinen Schritte, die zusammen zu einem großen Schritt für die Menschheit werden können. Denn mit dem Potenzial von Quantenrechnern könnten wir bald unser Wissen in vielen Bereichen erweitern und bislang schwer oder gar unlösbare Fragen beantworten.

Der IBM-Quantenrechner soll als offene Forschungsplattform den Grundstein dafür legen, hierzulande Know-how aufzubauen und wichtige Kompetenzen zu vernetzen. Beides Voraussetzungen für den Bau eines eigenen nationalen Quantencomputers, den sich die Bundesregierung in den nächsten zehn Jahren zum Ziel gesetzt hat und in den sie Milliarden investiert. Die Zeit bis dahin gilt es gut zu nutzen. »Mit dem Quantencomputer können Unternehmen und Forschungseinrichtungen jetzt schon Anwendungsfälle und Algorithmen testen und die Technologie auf diese Weise mitgestalten«, erklärt Winkler. Das Besondere an dem Rechner: Die Daten bleiben lokal in Deutschland. Diese Datenlokalität und der damit verbundene größtmögliche Datenschutzstandard ist besonders für externe Projektpartner mit sensiblen Daten und Berechnungen sowie zum IP-Schutz wichtig.

## Das System läuft

Nach einer intensiven Testphase ist das System nun in Betrieb und die ersten Projekte von Fraunhofer-Instituten in Zusammenarbeit mit Universitäten und Industriepartnern sind angelaufen. Was Winkler verblüfft hat, war die große Resonanz auf den Quantencomputer: »Viele konnten es kaum erwarten, damit zu arbeiten, und die Expertise in dieser noch jungen Tech-

nologie war schon sehr groß. Erfreulich war auch, dass viele schon sehr konkrete Vorstellungen hatten, welche Probleme damit gelöst werden sollen, seien es mathematische, chemische, physikalische oder Optimierungsfragen.«

Bevor der Quantencomputer ans Netz ging, musste er zunächst die Hürde Corona nehmen. Zwar war das fragile System, zerlegt in seine Einzelteile, pünktlich mit dem Schiff aus den USA angekommen. Doch die Fachleute von IBM, die ihn aufbauen sollten, durften nicht einreisen. So musste der komplexe Quantencomputer in un-

»Es ist ein Privileg, daran mitzuarbeiten, diese vielversprechende Technologie voranzutreiben.«



Jürgen Winkler, IT-Leiter am Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS

zähligen Videokonferenzen von hiesigen Experten aufgebaut werden, die das noch nie gemacht hatten. Zudem waren beim Transport über den Atlantik einzelne Bauteile beschädigt worden. Doch Ersatzteile wurden umgehend geliefert und nach erfolgreicher Installation ging das System ans Netz.

Nun begann die Arbeit von Jürgen Winkler: »Da ein Quantencomputer nach ganz anderen Prinzipien arbeitet, mussten wir testen, ob alle 27 Qubits in den gewünschten Parametern funktionieren«, berichtet er. Das konnte der IT-Experte bequem von Berlin aus über ein Webinterface tun. Auf genau diesen Moment hatte er sich anderthalb Jahre vorbereitet.

Die erste Operation, die Winkler auf dem IBM Q System One durchführte, war der sogenannte Bernstein-Vazirani-Algo-

rithmus: »Er zeigt recht beeindruckend, wo Quantenrechner normalen schon überlegen sind. Denn mit dem Algorithmus kann man sehr schnell eine beliebige Zahlenkombination in nur einem Versuch erraten. Das ist, als würde man ein Fahrrad-Zahlenschloss gleich beim ersten Versuch knacken. Ein normaler Computer würde jede Möglichkeit nacheinander durchprobieren und irgendwann ein Ergebnis ausspucken. Weil der Quantencomputer die vielen Kombinationsmöglichkeiten parallel berechnet, ist er wesentlich schneller«, erklärt der Experte die Funktionsweise.

## Der Einsatz lohnt sich

Auch wenn Jürgen Winkler als IT-Verantwortlicher vorrangig für den technisch reibungslosen Betrieb des Systems verantwortlich ist, faszinieren ihn vor allem die Anwendungen, die Quantencomputing möglich macht. Wenn er jemandem das Potenzial der Technologie erklären soll, wird er kurz zum Verfahrenstechniker: »Mein Lieblingsbeispiel ist die Synthese von Ammoniak für Düngemittel. Die ist zwar heute bereits möglich, aber mit einem sehr ineffizienten und energetisch aufwendigen Verfahren. Mithilfe von Quantencomputing könnte man dieses optimieren und damit den Output bei minimalem Energieeinsatz steigern. So könnte die Quantentechnologie dafür sorgen, dass genügend Nahrungsmittel für die ganze Welt gedeihen.«

Drei Viertel seiner Arbeitszeit beschäftigt sich der IT-Direktor momentan mit den technischen, rechtlichen und organisatorischen Fragen rund um den Quantencomputer. Wie ein Qubit möchte er manchmal mehrere Zustände gleichzeitig annehmen, um alle Aufgaben schnell zu erledigen, erzählt er. »Und mein Team nimmt mich auch häufiger ortsunscharf war«, scherzt er in Anspielung auf die Heisenberg'sche Unschärferelation. Doch aller Einsatz lohnt sich – im Kleinen wie im Großen: »Wir erleben gerade eine aufregende Zeit und es ist ein Privileg, daran mitzuarbeiten, diese vielversprechende Technologie voranzutreiben.«

# Teamarbeit nach Corona

Wie lässt sich Zusammenarbeit in einer Zeit nach der Pandemie organisieren? Wie entsteht eine neue Normalität in der digitalisierten Arbeitswelt? Es sind diese Fragen, die aktuell viele Unternehmen beschäftigen. Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO gibt die Antworten.

Von Mehmet Toprak



**K**atharina Dienes muss zurzeit viele Anfragen beantworten. Unternehmen suchen Rat, wie es mit den Mitarbeitenden weitergehen kann, wenn die Pandemie überstanden sein wird. Sollen und können dann einfach alle Mitarbeitenden aus dem Homeoffice wieder zurück ins Büro? Wie organisiert und strukturiert man die Zusammenarbeit von Teams in der Post-Corona-Ära, um mit innovativen Produkten oder Geschäftsideen weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben? Wie erzeugt man eine neue Normalität in der digitalisierten Arbeitswelt und was macht eigentlich ein schlagkräftiges Team aus? Forschende am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart beschäftigen sich mit solchen Fragen – und das schon seit vielen Jahren und vor Corona.

Einige der Antworten von Katharina Dienes finden sich in der Studie »Teamarbeit und ihre Arbeitsumgebung«, an der sie als Autorin beteiligt war. Für die Studie

wurden von Mai bis Oktober 2019 rund 1200 Mitarbeitende aus Unternehmen befragt. Speziell auf das Thema Homeoffice während der Corona-Pandemie konzentriert sich die aktuelle Studie »Homeoffice Experience«. Von Mai bis Juli 2020 interviewte das Fraunhofer IAO-Team rund 2100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus verschiedenen Branchen.

Die gute Nachricht ist: »Die Menschen haben ihren Arbeitstag zu Hause so organisiert, dass ihre Performance nicht gelitten hat. Selbst wenn sie manchmal erst abends so richtig zum Arbeiten kamen oder das Notebook in der Küche aufstellen mussten«, stellt Dienes fest.

Und das sind die Zahlen dazu: 43 Prozent der Befragten gaben an, im Homeoffice genauso produktiv zu sein wie im Büro. Fast 40 Prozent der Befragten waren sogar der Meinung, sie seien zu Hause noch produktiver. Das Arbeiten im Homeoffice hat sich also vor allem für die konzentrierte Einzelarbeit bewährt. Die Studie zeigt aber

# 43%

der Befragten gaben an, im Homeoffice genauso produktiv zu sein wie im Büro.

auch, wo die Probleme liegen. So wird der Informationsfluss zwischen Büro und Homeoffice häufig zum Problem. Zwar fühlen sich 63 Prozent der Befragten gut informiert, aber tatsächlich bekommen lediglich 40 Prozent zu Hause wichtige Nachrichten aus dem Unternehmen sofort mit.

Noch fataler ist, dass die Kreativität des Teams leidet, wenn die Kollegen und Kol-



»Die Präsenz im Büro fördert die Kreativität und verbessert die Identifikation der Mitarbeitenden mit Team, Projekt und Unternehmen.«

Katharina Dienes,  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Heute verbringen die Mitarbeitenden 50 Prozent mehr Zeit in Teamarbeit als vor 20 Jahren.

leginnen im Homeoffice sitzen und sich nur via Videokonferenzen oder E-Mails austauschen. In der Studie gibt lediglich ein Drittel der Befragten an, dass sie daheim neue Ideen und Lösungen entwickeln können. »Die Präsenz im Büro fördert das Entstehen von kreativen Ideen. Ganz nebenbei verbessert sie die Identifikation der Mitarbeitenden mit dem Team, dem Projekt und dem Unternehmen«, erklärt Dienes.

### Voraussetzungen für die Koexistenz von Homeoffice und Büro

Homeoffice für die ungestörte Einzelarbeit und Büro für das kreative Miteinander? So einfach ist es nicht. Die Koexistenz von Homeoffice und Büro führt nach Überzeugung der Fraunhofer IAO-Wissenschaftler nur dann zum Erfolg, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind: Zum einen muss es Schnittstellen zwischen Homeoffice und Büro geben. Dazu gehören beispiels-

weise virtuelle Whiteboards bei Meetings, auf die alle Mitarbeitenden gemeinsam Notizen oder Skizzen machen können – egal, wo sie sitzen. Bei den Videokonferenz-Tools sollte die Möglichkeit genutzt werden, Breakout-Sessions einzurichten, in denen Teammitglieder abseits der großen Runde im kleinen Kreis diskutieren können. Damit lässt sich die räumliche Entfernung zwischen den Mitarbeitenden zumindest teilweise kompensieren.

Zum anderen müssen auch die Räumlichkeiten zu den jeweiligen Aufgaben passen. Für das Büroleben der Zukunft gibt es klare Empfehlungen. Lange Laufwege stören das produktive Miteinander. Dienes misst das sogar in Metern: »Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass ab einer Entfernung von 15 Metern der informelle und spontane Austausch zwischen den Mitarbeitenden schwierig wird. Dann sinkt auch die Kreativität. In dem Zusammenhang ist es zusätzlich wichtig, dass die Mitarbeitenden leicht Blickkontakt halten

können.« Variable und vielfältig gestaltete Räume sind nach den Erkenntnissen der Fraunhofer-Forschenden eine unverzichtbare Voraussetzung für die erfolgreiche Teamarbeit.

Da kann Corona zur Chance werden. Viele der in der Studie Befragten gehen davon aus, dass sie nach Corona nur noch 10,8 Tage pro Monat im Büro arbeiten, also um etwa 26 Prozent weniger als vor der Pandemie. »Da ist jetzt der Zeitpunkt, um das Büro möglichst attraktiv zu gestalten und die Vorteile für alle deutlich sichtbar zu machen«, rät Dienes. Das lohnt sich: Teams, die den fliegenden Wechsel zwischen Homeoffice und Büro meistern und dabei von der IT-Ausstattung und der Arbeitsumgebung unterstützt werden, sind in der Lage, auf unerwartete Situationen schnell und flexibel zu reagieren. Eine agile Arbeitskultur hilft nicht nur beim nächsten Projekt, sondern mittel- und langfristige auch dem Unternehmen, wettbewerbsfähig und innovativ zu bleiben. ■

# Aus Wald wird neu

Höher, schneller, weiter: Holzbau boomt. Tokio will einen 350-Meter-Wolkenkratzer – und auf dem ehemaligen Flughafengelände von Berlin-Tegel soll das weltgrößte Stadtquartier in Holzbauweise entstehen.

Von Beate Strobel

**D**ass er mit dem Thema Holz quasi auf Gold gestoßen war, wurde Prof. Holger Kohl erstmals vor drei Jahren bewusst. Damals hatte der stellvertretende Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK versucht, Vertreter unterschiedlicher Branchen für ein Holzbau-Projekt an einen Tisch zu bekommen: Architekten und Planer, Politiker, Bauunternehmer, Forstwirte. »Ich habe gestaunt über das Echo. Holzbau bewegt aktuell Gesellschaft, Wirtschaft und Politik«, sagt der Wirtschaftsingenieur. Verblüfft hat ihn aber auch: »Jeder arbeitet nur innerhalb seiner Profession daran. Niemand hat bislang das Thema so systemisch gedacht wie wir.«

**Effizient, günstig und vor allem nachhaltig:** Der Rohstoff Holz ist auf dem besten Weg, zur Planke in die Stadt der Zukunft zu werden. In der Hamburger Hafencity entsteht gerade das mit 65 Metern höchste Holzhochhaus Deutschlands. Rotterdam plant bereits einen 140-Meter-Turm in Holz-Hybrid-Technik, das australische Sydney will mit 180 Metern noch höher hinaus. Und Tokio? Arbeitet an einem 350 Meter hohen Wolkenkratzer aus dem Naturbaustoff Baum. Voraussichtliche Fertigstellung: 2041. ▶

Visualisierung: Nikken Sekkei



90 Prozent Holz, nur zehn Prozent Stahl – so sieht die Ökovariante von einem Wolkenkratzer aus, wie er bis 2041 in Tokio entstehen soll.



Doch Holz kann nicht nur hoch, sondern auch breit. Auf dem Gelände des ehemaligen Berliner Flughafens Tegel (TXL) soll mit dem Schumacher Quartier ein ganzes Stadtviertel vorwiegend aus dem Rohstoff entstehen, den die Wälder Brandenburgs produzieren. Mit gut 5000 Wohnungen wird es bei Fertigstellung nicht nur um ein Vielfaches größer sein als der aktuelle deutsche Rekordhalter in dieser Disziplin – der Münchner Prinz-Eugen-Park mit knapp 600 Wohnungen –, sondern gleich das weltweit größte Stadtquartier in Holzbauweise.

**Ebenfalls auf dem TXL-Gelände geplant** ist ein Forschungs- und Industriepark für Zukunftstechnologien. Und in diese »Urban Tech Republic« zieht dann auch die Bauhütte 4.0 ein: ein Cluster für innovativen Holzbau, der vom Fraunhofer IPK, der TU Berlin und der Tegel Projekt GmbH entwickelt wird. Analog zum historischen Namenspaten – der Dombauhütte als Werkstattverband – will die Bauhütte 4.0 eine Art Ideenschmiede sowie hochinnovative Produktionsstätte für den Holzbau sein: Experten aus Forschung und Forstwirtschaft, aus dem Software-Bereich, aus Bauindustrie und Stadtentwicklung sollen hier zusammenkommen, um nachhaltiges Bauen mit Holz zu industrialisieren und so zum neuen Must-have für Kommunen zu machen. Oder wie es Holger Kohl ausdrückt: »Wir holen den Wald in die Stadt.«

Im vergangenen Vierteljahrhundert ist der prozentuale Anteil der neu gebauten Wohngebäude aus Fichte, Lärche, Buche & Co. in Deutschland auf 18,7 Prozent gestiegen; das Umsatzplus der Handwerksbetriebe in diesem Segment stieg zwischen 2016 und 2019 um gut 16 Prozent. Doch das schwedische Blockhaus am See und die Architektenvilla für den öko-bewussten Akademikerhaushalt reichen langfristig nicht aus. Ohne ein Umdenken im städtischen Wohnungsbau wird die EU ihr ehrgeiziges Ziel – Klimaneutralität bis 2050 – nicht erreichen, darüber sind sich Experten einig. Denn etwa 38 Prozent der globalen Kohlendioxid-Emissionen entfallen auf den Bau- und Gebäudesektor. Die Herstellung von Zement trägt hier rund acht Prozent bei, auf die Stahlerzeugung entfallen weitere sechs bis acht Prozent. Trotzdem, so Holger Kohl,

»baut die Industrie bis heute noch weitgehend so wie vor 100 Jahren«.

Dabei hat das Bauen mit Bäumen eigentlich nur Vorteile: Holz muss nicht – wie Stahl, Ziegel oder Beton – energieintensiv hergestellt werden, sondern wächst einfach mithilfe von Licht, Luft, Erde und Wasser empor. Dabei entzieht es der Atmosphäre auch noch das Treibhausgas Kohlendioxid. Jeder Kubikmeter Holz kann etwa eine Tonne CO<sub>2</sub> dauerhaft speichern. Wird es verbaut, bleibt das CO<sub>2</sub> gebunden, während zugleich Raum für neue Bäume entsteht. Wer mit Holz baut, der pflanzt also einen zweiten Wald. Nur eben in der Stadt und in Form von Häusern.

Dass die Wohnungsnot in den Metropolen schneller wächst als der deutsche Wald, ist dabei nicht zu befürchten: Alleine in den Brandenburger Forsten entstehe innerhalb von 50 Tagen ausreichend Holz für 17 000 neue Wohnungen jährlich, rechnet die Deutsche Holzindustrie vor. Die sich hartnäckig haltende Sorge, Holzhäuser seien wortwörtlich brandgefährlich, ist ebenfalls längst wissenschaftlich entkräftet. Prof. Stefan Winter etwa, der sich an der TU München auf Brandschutz spezialisiert hat, attestiert Holzbauten das »exakt gleiche Sicherheitsniveau« wie jedem anderen Gebäude. Forscher am Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI konnten zudem belegen, dass Holzbauten sogar dem Klimawandel standhalten werden: Bei Berücksichtigung der prognostizierten klimatischen Bedingungen bis 2115 sei man zu dem Schluss gekommen, »dass die Änderungen

des Klimas keine negativen Auswirkungen auf das Bauen mit Holz haben«, so Projektleiter Norbert Rüter. Langlebig ist das Material überdies: Das älteste Holzhaus Europas, ein Blockhaus in der Schweiz, wurde 1175 gebaut und bis 1980 auch bewohnt.

des Klimas keine negativen Auswirkungen auf das Bauen mit Holz haben«, so Projektleiter Norbert Rüter. Langlebig ist das Material überdies: Das älteste Holzhaus Europas, ein Blockhaus in der Schweiz, wurde 1175 gebaut und bis 1980 auch bewohnt.

**Dass sich Bäume als Baustoff** trotz all dieser Pluspunkte bislang nur zögerlich durchsetzen, liegt vor allem am Preis: Der Holzbau ist derzeit noch rund zehn Prozent teurer als konventionelle Verfahren. Das aber, so die Hoffnung der Bauhütte-4.0-Verantwortlichen, ließe sich ändern durch ein Plus an Digitalisierung, Automatisierung und Standardisierung im Holzbau. So wie einst Industrie 2.0 das Automobil erschwinglich machte für

»Wir holen den Wald in die Stadt.«

Prof. Holger Kohl, stellvertretender Leiter des Fraunhofer IPK

In der Hamburger Hafencity entsteht gerade das mit 65 Metern höchste Holzhochhaus Deutschlands.



**38 %**  
der globalen Kohlendioxid-Emissionen entfallen auf den Bau- und Gebäudesektor.

jedermann, könnte Holzbau 4.0 den pflanzlichen Rohstoff wirtschaftlicher und somit interessanter für Bauunternehmer und Kommunen machen. Und vielleicht sogar den sozialen Wohnungsbau revolutionieren: Baumhaus statt Platte.

**Die Holzbauwirtschaft in Deutschland** ist allerdings bislang geprägt durch handwerkliche Kleinunternehmen und manufakturähnliche Strukturen; ihr fehlt das Hightech-Wissen und das Finanzvolumen, um echte Veränderungen in Gang zu setzen. Und so sehen es die Kooperationspartner der Bauhütte 4.0 als ihre vordringlichste Aufgabe an, den Holzbau ins digitale Zeitalter zu tragen. »Wir wollen Orchestrator der gesamten Wertschöpfungskette sein«, formuliert es Holger Kohl. Und die beginnt bereits im Wald: Wie muss der Baumanbau gesteuert werden, damit in 30 Jahren genau so viel Wald regional verfügbar ist, wie benötigt wird? Wie lassen sich digitale Technologien von der Planung bis hin zur Realisierung des Gebäudes smart einsetzen? Wie viel modulare

Vorfertigung ist möglich, wenn nicht uniformer Plattenbau das Ziel ist, sondern eine variable Architektur? Wie lässt sich durch intelligente Vorfertigung und Vormontage von Holzbauteilen der wetteranfällige Alltag auf der Baustelle entlasten und dadurch die Bauphase selbst schneller und effizienter gestalten? Und wie könnte schließlich eine Zweit- oder Drittverwertung von Bauholz aussehen?

In der Hauptstadt hat sich das Abgeordnetenhaus 2019 auf die Formel »Berlin baut mit Holz« festgelegt. Holger Kohls Blick allerdings schweift längst über die Grenzen der Landeshauptstadt hinaus: »Das Konzept der Bauhütte 4.0 lässt sich gut skalieren«, findet er – zunächst für Deutschland, aber auch weltweit. Schon jetzt plant das Fraunhofer IPK ein Projekt in Vietnam auf Basis der Bauhütte 4.0 – nur eben nicht mit der Brandenburger Kiefer als Rohstoff, sondern mit Bambus. Denn nachhaltig ist die Verwendung von Baum am Bau natürlich nur, wenn der nicht erst um die halbe Welt gekarrt werden muss. ■

Urbanes Leben für junge Familien. So sieht das Versprechen aus: »Berlin baut mit Holz« – auch auf dem Gelände des ehemaligen Flughafens Tegel.





Serie: **Gründen mit Fraunhofer**

# Quanten- kommunikation aus der Steckdose

Mit Quantum Optics Jena geht das erste Quantentechnologie-Spin-off von Fraunhofer an den Start. Mit verschränkten Lichtquanten will das junge Team die Sicherheit der Kommunikation revolutionieren und Quantenkommunikation alltagstauglich machen.

Von Mandy Bartel

**D**as richtige Timing ist für Gründer einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren – das gilt besonders für Zukunftstechnologien. Ist man zu früh dran, fehlt der Markt, kommt man zu spät, ist er schon aufgeteilt. »Im Falle der Quantentechnologien tut sich gerade sehr viel. Die Struktur des Start-up-Ökosystems bildet sich jetzt heraus«, erklärt Kevin Füchsel, einer der Köpfe und kaufmännischer Geschäftsführer von Quantum Optics Jena. Die Zeit

scheint also genau richtig für das Spin-off des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena mit Fokus auf Quantenkommunikation.

## **Spione aufspüren mit verschränkten Photonen**

Die Idee des Gründerteams basiert auf einem komplexen Verfahren: Um Kommunikationsnetze durch Quantenverschlüsselung sicherer zu machen, nutzt

das Unternehmen verschränkte Lichtteilchen. In einer Quantenquelle werden mithilfe eines Kristalls Zwillingspaare dieser sogenannten Photonen erzeugt, die in ihren Eigenschaften miteinander verbunden sind. Wird die Polarisation des einen Photons gemessen, ist auch die des anderen bekannt – und zwar egal, wo es sich befindet. Darauf aufbauend kann man zwei Schlüssel erzeugen, denen Sender und Empfänger sofort ansehen, wenn Dritte versuchen, die Kommunikation abzuhören.

Solche Quantenquellen entwickelte und optimierte Oliver de Vries, der technische Kopf des Unternehmens, mit seinem Team viele Jahre lang am Fraunhofer IOF bis zur Technologiereife. »Fraunhofer hat uns – fachlich und persönlich – den Weg in die Selbstständigkeit ermöglicht, damit können wir Arbeitsplätze schaffen und Deutschland in dieser Zukunftstechnologie voranbringen. Auch im Ausgründungsprozess haben wir große Unterstützung erfahren«, sagt der Elektrotechniker und promovierte Physiker rückblickend.

»Unsere anfängliche Idee war es, einfach eine verschränkte Photonenquelle als Produkt anzubieten. Doch schnell wurde klar, dass Unternehmen eine Plug-in-Lösung haben wollen, die an die Netzwerkstruktur angebunden ist und alle nötigen Komponenten beinhaltet«, erklärt sein Mitstreiter Kevin Füchsel, Physiker und Kommunikationsstrategie. »Unsere Vision ist es, in deutlich unter fünf Jahren eine Art Quanten-Router als Komplettpaket anzubieten, den man in die Steckdose steckt und damit die Kommunikation quantenkryptographisch verschlüsselt.« Die Lösung, die das Jungunternehmen bietet, ist dabei unabhängig von den Übertragungswegen, sie funktioniert sowohl via Freistrahlfeld, durch Satelliten im Weltall über größere Distanzen als auch terrestrisch über Glasfasernetze ohne Verstärkerknoten.

Entsprechend breit ist auch die potenzielle Kundschaft: von Satellitenanbietern, die ihre Satelliten mit Photonenquellen ausstatten, bis hin zu Netzwerkausrüstern, Industrieunternehmen mit hohen Sicher-



Kevin Füchsel (oben) und Oliver de Vries: die Gründer von Quantum Optics Jena.

»Fraunhofer hat uns – fachlich und persönlich – den Weg in die Selbstständigkeit ermöglicht, damit können wir Arbeitsplätze schaffen und Deutschland in dieser Zukunftstechnologie voranbringen.«

heitsanforderungen etwa im Finanz- oder Medizinsektor oder Regierungsorganisationen. Und die Nachfrage ist groß. »Wir sind mit einigen Unternehmen im Austausch, die schnelle Lösungen haben wollen. Denn durch die dynamische Entwicklung von leistungsfähigen Quantencomputern geraten klassische Verschlüsselungsverfahren immer mehr in Gefahr, rasch geknackt zu werden. Schnelligkeit hat deshalb für uns oberste Priorität«, betont Füchsel.

Von der ersten Idee der Ausgründung vor knapp einem Jahr bis zur Unternehmensgründung ging alles rasch. Im Sommer 2020 waren genug Mit-Gründer gefunden, die Due-Diligence-Phase zur Prüfung des Geschäftsmodells war binnen drei Monaten abgeschlossen und auch Investoren fanden sich zügig. Dabei entschied sich das Gründerteam bewusst für ein kleineres Konsortium aus drei Investoren, in dem vieles noch auf persönlicher Ebene vorangetrieben werden kann.

## Macherqualitäten und Mut

Heute ist die Arbeit von Quantum Optics Jena noch sehr forschungsintensiv, doch das erklärte Ziel ist, »die Technologie über die Schwelle der Kommerzialisierung zu heben«, formuliert es de Vries. Dabei helfen nach wie vor gemeinsame strategische Projekte mit den ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer-Institut, in denen die Photonenquellen optimiert werden. Um den selbst gesteckten straffen Terminplan bis zum Produktlaunch einzuhalten, braucht das Spin-off jedoch noch mehr schlaue Köpfe. »Die sind gar nicht so einfach zu finden, denn sie müssen nicht nur das fachliche Verständnis mitbringen, sondern auch die Macherqualitäten und den Mut, die so ein Spin-off erfordern«, so de Vries. Dafür gehen die Ideen nicht aus. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IOF tüftelt das Team gerade an einer neuen Idee für die Quantenbildgebung, welche demnächst in der Medizintechnik oder Materialanalyse zur Anwendung kommen könnte. ■

# Nervenzellen vom Fließband

1,6 Millionen Menschen in Deutschland leiden an Demenz. Es fehlt an Arzneien. Die StemCellFactory verarbeitet Blutproben zu Körperzellen, um die Wirkung von Medikamenten schneller zu erproben.

Von Dr. Monika Offenberger

**W**enn Oma nicht mehr alleine nach Hause findet, wenn sie ihre Enkel verwechselt, scheint der Fall klar:

Die Dame ist dement. Von 1,6 Millionen Menschen mit Demenzerkrankungen in Deutschland berichtete die Deutsche Alzheimer Gesellschaft im vergangenen Jahr. Prognose: Bis 2050 werde sich die Krankenzahl auf 2,4 bis 2,8 Millionen Menschen erhöhen. Was tun? Aktuell unterstützen verschiedene Präparate die Funktion der Nervenzellen oder lindern die psychischen Begleiterscheinungen. Es fehlt an Arzneien, die das Schwinden der geistigen Leistungsfähigkeit aufhalten. Die Suche nach potenten Wirkstoffen dauert Jahre und endet häufig ohne Erfolg. »Dieser Prozess ließe sich deutlich verkürzen, wenn man die Medikamente nicht erst an den Betroffenen selbst, sondern schon frühzeitig an ihren krankhaft veränderten Nervenzellen testen würde«, sagt Bastian Nießing vom Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen: »So könnte man in wenigen Wochen herausfinden, welcher Wirkstoff in welcher Dosis diese Veränderungen positiv beeinflusst – und diesen dann in weiteren Testsystemen genauer untersuchen.«

Die Idee klingt bestechend. Doch wie kommen die Forschenden an Omas Nervenzellen? Die Antwort lautet: über ihr Blut. Denn mit speziellen Biomolekülen

lassen sich ausgereifte rote Blutkörperchen in unreife Stammzellen und anschließend in Nervenzellen oder beliebige andere Körperzellen umprogrammieren. Das Rezept für diese induzierten pluripotenten Stammzellen, kurz iPS-Zellen, brachte seinem Erfinder Shinya Yamanaka den Medizin-Nobelpreis 2012. »Über den Umweg der iPS-Zellen lassen sich nun auch spezifische Erkrankungen von Organen erforschen, von denen man nicht einfach Proben entnehmen und Zellkulturen anlegen kann«, betont Oliver Brüstle, Professor am Institut für Rekonstruktive Neurobiologie der Universitätsklinik Bonn.

## Wie sich ein Gen reparieren lässt

Beispiel Gehirn. Sämtliche Genveränderungen, die eine Demenz zur Folge haben, finden sich auch in Nervenzellen, die aus umprogrammierten Blutzellen gewonnen wurden. »Am besten wäre es, wenn wir die kranken Zellen einer Person mit gesunden Zellen derselben Person vergleichen könnten«, sagt Prof. Brüstle und erklärt, wie das gehen soll: »Wir kennen eine Reihe von Genen, die mit neurologischen oder psychiatrischen Krankheiten assoziiert sind. Und wir können in kultivierten Zellen ein einzelnes fehlerhaftes Gen reparieren. Somit können wir zwei Zelllinien desselben Patienten vergleichen, die entweder das fehlerhafte oder das reparierte Gen besit-

Der Uhrentest gehört zur klassischen Demenztestung: Die Zahlen sollen »wie auf einer Uhr« angeordnet werden, um dann eine vorgegebene Zeit mit den Zeigern darzustellen.

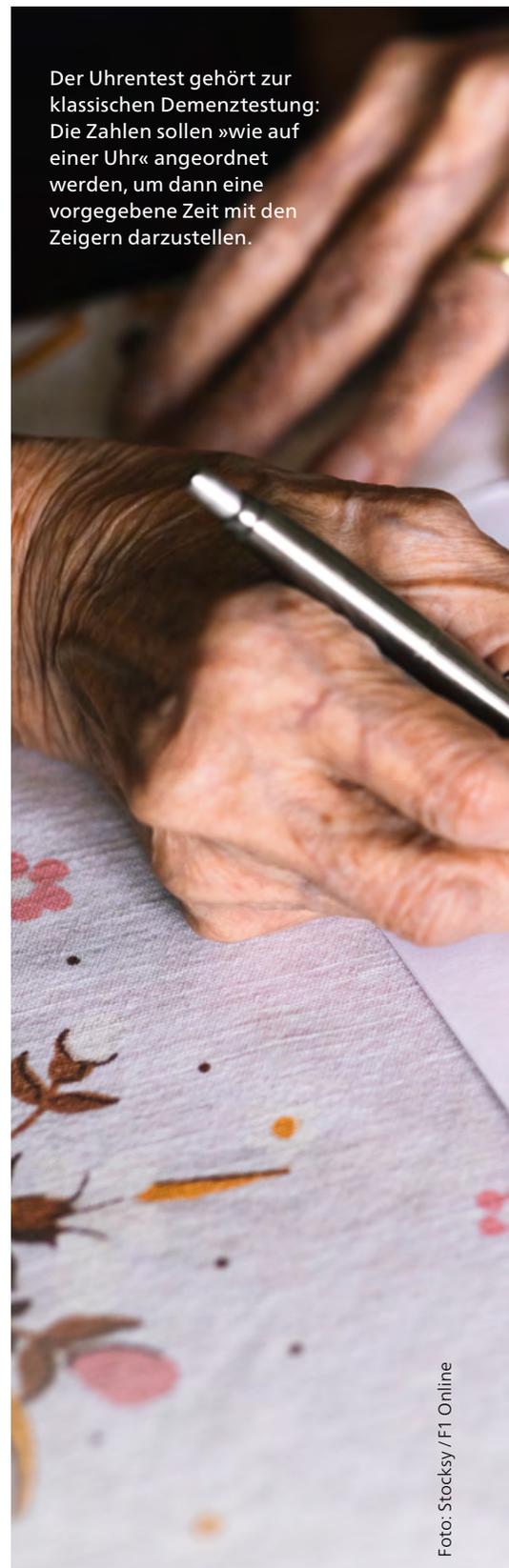
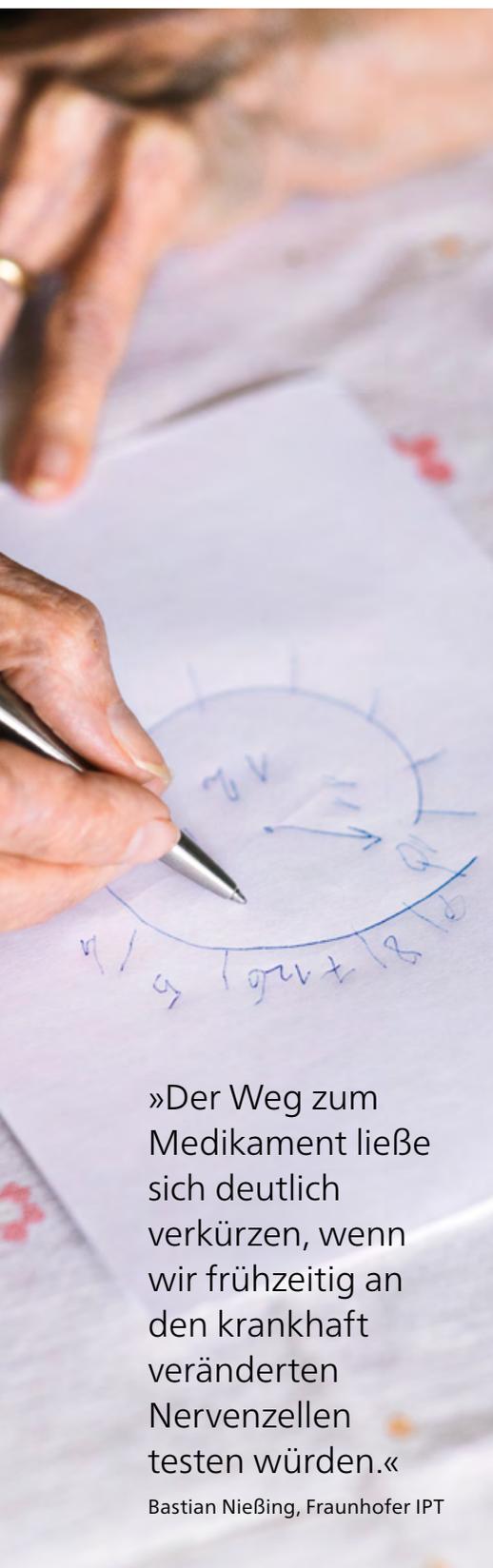


Foto: Stocksy/F1 Online



»Der Weg zum Medikament ließe sich deutlich verkürzen, wenn wir frühzeitig an den krankhaft veränderten Nervenzellen testen würden.«

Bastian Nießing, Fraunhofer IPT

zen und ansonsten identisch sind. Und es geht auch umgekehrt: Dazu nimmt man die Zellen einer gesunden Person und ersetzt ein bestimmtes Gen durch sein krankes Pendant.«

Solche präzisen Eingriffe ins Erbgut gelingen mithilfe der Genschere CRISPR/Cas9. Ursprünglich für Bakterien entwickelt, wurde dieses Enzymsystem von Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna für das Genome Editing im Labor adaptiert – eine Glanzleistung, die mit dem Chemie-Nobelpreis 2020 honoriert wurde. Die Herstellung von iPS-Zellen und das Genome Editing haben die Lebenswissenschaften revolutioniert. In Kombination eröffnen diese Techniken eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für die medizinische Forschung und Anwendung. Am Fraunhofer IPT hat man das sehr früh erkannt und die Zusammenarbeit mit der Translationsplattform LIFE & BRAIN an der Universität Bonn gesucht: »Schon 2010, also kurz nachdem die iPS-Zellen verfügbar waren, kam die Idee auf, so ein tolles Produkt auch automatisiert herzustellen. Das war der Startschuss zur StemCellFactory«, erzählt Bastian Nießing, der seit 2017 maßgeblich am Ausbau der Anlage beteiligt ist. An dem Projekt beteiligt sind heute außerdem das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, die Lead Discovery Center GmbH in Dortmund, die umlaut consulting GmbH in Aachen sowie die Universitätskliniken Aachen und Bonn. Anfangs dienten bestimmte Hautzellen, sogenannte Fibroblasten, als Ausgangsmaterial für die Induktion von Stammzellen. Inzwischen können auch Blutzellen umprogrammiert und genetisch verändert werden, bevor man sie zu den gewünschten Körperzellen ausreifen lässt.

### Hilfe bei Demenz – und Krebs

Die gesamte Prozedur dauert knapp zehn Wochen und läuft – bis auf wenige Schritte – voll automatisiert in stets gleich bleibender Qualität ab. Die StemCellFactory fungiert dabei als große Plattform mit kombinierbaren Modulen: Zuerst wird die vorbereitete Blutprobe in einer Zen-

trifuge in ihre Bestandteile aufgetrennt. Ein Roboterarm reicht sie von dort zur Kamerastation, die die genaue Position der roten Blutkörperchen bestimmt und an die Pipettierstation übermittelt. Dort werden die gewünschten Blutzellen aufgesaugt, mit Nährmedium versetzt und in den Brutschrank gestellt, wo sie wachsen und sich vermehren. Ihre Umprogrammierung zu Stammzellen wird mithilfe spezieller Viren eingeleitet und erfolgt daher in einem Labor mit erhöhten biologischen Sicherheitsvorkehrungen. Vollendet wird die Verwandlung wieder in der StemCellFactory, wo auch das Genom Editing der eben erzeugten Stammzellen erfolgt. Welche Gene dabei verändert werden, hängt vom Krankheitsbild ab, das es zu erforschen gilt. Auch das weitere Schicksal der iPS-Zellen wird davon bestimmt: In entsprechenden Nährmedien lassen sie sich in viele verschiedene Körperzellen umwandeln.

Noch liefert die StemCellFactory vor allem maßgeschneiderte Zellen für die Krankheitsforschung und Wirkstofftestung. Bald könnten auch krebskranke Menschen profitieren. Die Hoffnung liegt auf einer speziellen Klasse von Immunzellen, sogenannten CAR-T-Zellen: Durch gezielte genetische Veränderungen sind sie in der Lage, die Krebszellen individueller Patientinnen und Patienten zu erkennen und ihre Zerstörung einzuleiten. Derzeit ist die Herstellung dieser spezifischen Immunzellen extrem teuer; zudem müssen die Kranken lange darauf warten und verlieren wertvolle Zeit. Durch die Automatisierung ließen sich die Produktion von CAR-T-Zellen beschleunigen und die Kosten erheblich senken. Eben daran arbeitet das Fraunhofer-Team zusammen mit Medizinerinnen der Universitätsklinik Würzburg in einem Projekt namens AIDPATH, das ab Januar 2021 vier Jahre lang von der EU gefördert wird. Bastian Nießing beschreibt seine Vision: »Ich stelle mir vor, dass unsere Anlagen dezentral in verschiedenen Krankenhäusern betrieben werden und direkt dort die individuell zugeschnittenen Immunzellen für an Krebs erkrankte Menschen herstellen.«

# Ich glaub, ich bin im Film!

In einem volumetrischen Studio in Babelsberg entstehen lebensechte dreidimensionale Filmbilder – mit der Technologie des Fraunhofer-Spin-offs Volucap.

Von Stefan Ruzas

**D**as Kino der Zukunft ist gleich schräg gegenüber der Marlene-Dietrich-Halle. Mit 5400 Quadratmetern war sie früher Europas größtes Filmatelier. 1927 drehte hier der legendäre Fritz Lang den Science-Fiction-Film »Metropolis«, seine Produktion mit Mehrfachbelichtungen und Stop-Motion-Technik gilt immer noch als revolutionär.

Für eine Umwälzung der Medienproduktion braucht das Babelsberger Unternehmen Volucap heute nicht mehr als 170 Quadratmeter. In der Mitte des Studios ist eine vier Meter hohe Rotunde, an den weißen Wänden sind auf drei Ebenen 16 Stereo-Kamera-paare installiert, dazu knapp 250 LED-Panels. Mithilfe spezieller Software und Filmtechnik entstehen in der Kuppel Scans von Menschen oder Dingen, aus denen fast in Echtzeit dreidimensionale Bilder errechnet werden. Jede Mimik, jede Gestik und jede Falte wirken auch in der 360-Grad-Perspektive lebensecht. »Bis jetzt sehen 3D-Figuren immer aus wie 3D-Figuren, weil unser Gehirn sofort merkt, ob das Geschaffene echt ist oder nicht«, erklärt Volucap-Geschäftsführer Sven Bliedung. »Mit dem volumetrischen Verfahren gibt es erstmals die Möglichkeit, einen Menschen oder Dinge wie mit einer normalen Kamera aufzunehmen, ohne dass das Natürliche und Bewegliche verloren geht.«

Volumetrie ist ein räumliches Messverfahren. Ein volumetrisches Video ist also eine auf Hologrammen basierende Technologie, die Filmszenen für Zuschauer problemlos begehbar macht. Ob in der Unterhaltungsindustrie, Medizin, Mode oder

»Es ist für uns als Start-up wirklich eine sehr fruchtbare Kooperation mit Fraunhofer.«

Sven Bliedung,  
Volucap-Geschäftsführer



Maschinentechnik, im Sport oder Automobilbau. »Technisch funktioniert es so, dass wir aus den verschiedenen Kamerapositionen die Tiefe im Raum erfassen«, erläutert Bliedung. »Durch diese Daten kann man mithilfe künstlicher Intelligenz eine Oberflächenfigur spannen, auf die das Videosignal als Textur projiziert wird. Wir bilden das Reale automatisiert ab und bauen es nicht nach, weil unser Studio wie eine neue Kamera funktioniert.« Virtual Reality (VR) wird also endlich natürlich.

Bei den ersten Drehversuchen im Jahr 2018 konnte das Volucap-Team aufgrund der immensen Datenmengen gerade mal eine Minute aufnehmen, die dann bis zu zwei Monate Bearbeitungszeit brauchte. Mittlerweile sind 90 Minuten am Stück problemlos möglich und die Daten schon am nächsten Tag einsatzbereit. Zwei Terabyte werden zurzeit pro Minute bearbeitet, Ende des Jahres sollen es schon vier Terabyte sein. Immerhin: Bereits seit dem Start ist das Volucap-Studio ausgebucht: durch Telekom, »Tagesschau« oder Kunden aus der Wirtschaft. »Vor etwas mehr als 125 Jahren ließen die Brüder Lumière den Kinematographen patentieren und erfanden damit das Kino«, sagt Bliedung. »Wir stehen mit dieser neuen Bilderwelt jetzt wieder vor einer Zeitenwende.«

Hollywood ist schon jetzt zur Produktion von Blockbuster-Filmen in Babelsberg zu Gast, berichtet Bliedung. Apple, Google und Microsoft würden in den kommenden Jahren unsere zweidimensionalen Smartphones mehr und mehr durch dreidimensionale Brillen ersetzen lassen.

### Microsoft lud in seine Zentrale ein

Mit Microsoft fing für Volucap vieles an. Der Konzern lud ein in die Zentrale im amerikanischen Redmond. Man habe, hieß es Anfang 2017, etwas Neues entwickelt, um dreidimensional zu filmen. Sven Bliedung flog mit Kollegen zum Testen. Zurück in Deutschland stellte die Runde fest: Am Berliner Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI waren zu diesem Zeitpunkt derart viele Lösungen in Sachen 3D-Film vorhanden, von der Tiefenerfassung über die Algorithmen bis zum Komprimieren der Daten, dass daraus ein eigenes Projekt entstand. Gemeinsam mit Fraunhofer und den Medienfirmen Studio

Babelsberg, Ufa und Arri sowie den Software-Entwicklern von Interlake entstand ein Start-up, das heute als weltweit führend gilt.

»Wir sind sehr stolz darauf, dass eine von uns maßgeblich mitentwickelte Technologie die Filmbranche voranbringt«, sagt Ralf Schäfer, Leiter des Bereichs Video am Fraunhofer HHI. »Das volumetrische Studio zeigt, dass Deutschland Innovationstreiber sein kann.« Das Fraunhofer HHI hat für Volucap nicht nur die Software »3D Human Body Reconstruction« konzipiert, sondern auch die dynamische 360-Grad-Beleuchtung und das benutzerdefinierte Audio-Surround-System.

»Es ist für uns als Start-up wirklich eine sehr fruchtbare Kooperation mit Fraunhofer«, lobt der studierte Medieninformatiker Bliedung, der vor

mehr als 20 Jahren zum ersten Mal an strukturierten und animierten 3D-Oberflächen getüftelt hat; damals noch als Praktikant am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Rostock. Ende 2020 gewann das Volucap-Studio den Innovationspreis der Länder Berlin und Brandenburg, die Fraunhofer-HHI-Forscher erhielten für die neuartige Form der Video-Rekonstruktion außerdem den renommierten Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Als Innovationscluster arbeitet Volucap ständig mit diversen Universitäten zusammen. Und natürlich auch weiterhin mit Microsoft. Der nächste Schritt sei nun, mobi-

le volumetrische Studios aufzubauen, so Bliedung: »Es gibt immense Lernmöglichkeiten, wenn wir zum Beispiel das Innere eines Operationssaals in einer Klinik volumetrisch filmen. Der eine will wissen, wie die Anästhesie eingestellt wird, die andere interessiert sich für chirurgische Details und eine dritte Person für die Dokumentation einer OP. All das ist zeitgleich möglich. Wir als Zuschauer können diesen Raum künftig begehen.«

Das Gleiche gelte für die Schulung an Maschinen für Mitarbeiter der Automobilindustrie, im Games-Bereich oder bei der Diagnostik im Leistungssport – und all das ohne »Motion Capture«, wie das herkömmliche 3D-Verfahren heißt, bei dem Menschen in Sensor-Anzügen aufgezeichnet und am Computer nachmodelliert werden. Kleidung wirkte da immer künstlich. Jetzt kann sogar die Modebranche vom volumetrischen Studio profitieren, um das Model-Hologramm herumgehen und begutachten, wie der Stoff an welcher Stelle fällt. ■

Der Vorstand von Volucap: Thomas Ebner, Sven Bliedung und Torsten Schimmer (v.l.).



# 16

Kamera  
paare  
und knapp

# 250

LED-Panels.

**D**ie Nachricht kam an einem Freitagnachmittag. Dr. Simon Fichtner saß im Homeoffice bei der Durchsicht seiner E-Mails. »Als ich die Nachricht las, dass die Jury des Hugo-Geiger-Preises mir für meine Dissertation den ersten Preis verliehen hatte, da ging schon ein breites Grinsen über mein Gesicht.«

Erhalten hat Fichtner den Preis für seine Entdeckung, dass das Dünnschichtmaterial Aluminiumscandiumnitrid (AlScN) ferroelektrische Eigenschaften besitzt. Seine Dissertation hat Fichtner an der Kieler Christian-Albrechts-Universität (CAU) durchgeführt – in enger Anbindung an Projekte des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT. Möglich wird dies durch die intensive Kooperation zwischen der CAU und dem Fraunhofer ISIT.

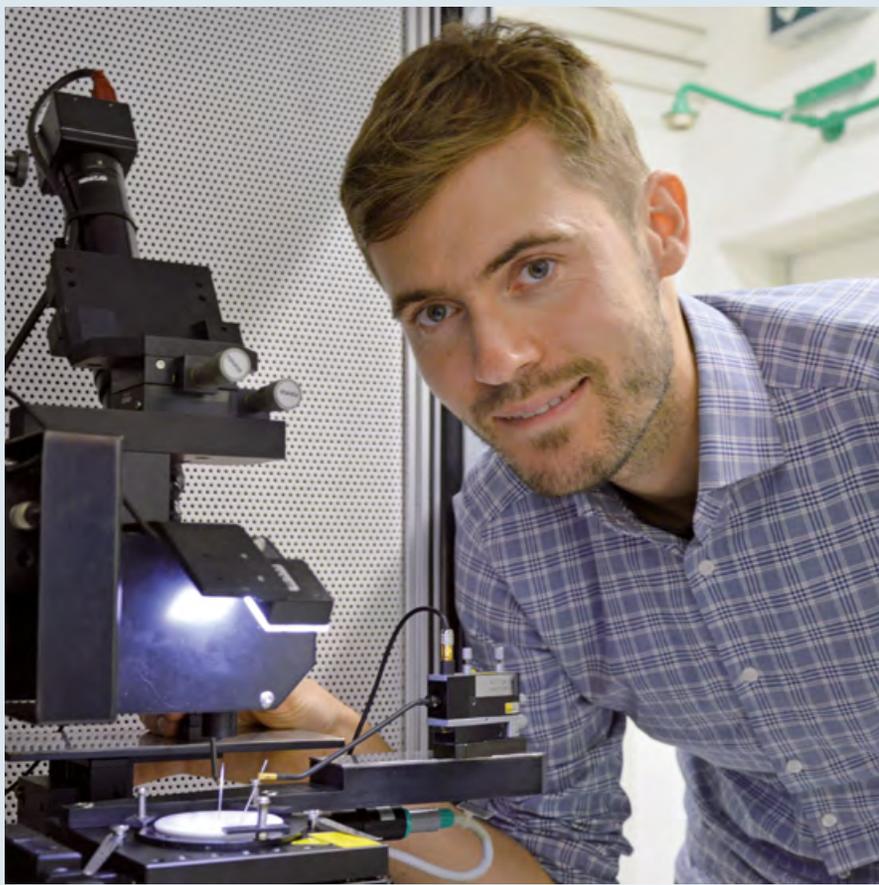
»Unser Ziel war ursprünglich, die Leistung des piezoelektrischen Materials AlScN zu steigern«, erklärt Fichtner. Diese Materialien können Bewegungen in elektrische Spannung umwandeln oder umgekehrt beim Anlegen elektrischer Spannungen einen Bewegungsimpuls erzeugen. Genutzt werden die Komponenten etwa für Hörgeräte, Mikrofone, Handylautsprecher oder Kopfhörer. Den Forschenden erschien AlScN als vielversprechender Kandidat für eine Leistungssteigerung. Im Labor veränderten Fichtner und sein Team deshalb immer wieder die chemische Zusammensetzung von AlScN und legten dann elektrische Spannungen an. Sie wollten sehen, ob die damit erzeugte Dehnung von AlScN linear zur Spannung ansteigt und das Material kontrollierbar bleibt – insbesondere unter sehr hohen Spannungen.

**Es zeigte sich eine unvorhergesehene Reaktion**, als die Fraunhofer-ISIT-Forschenden den Scandium-Anteil in AlScN auf über 40 Prozent anhoben. Die Dehnung war bei einem bestimmten Spannungsniveau plötzlich nicht mehr linear zur angelegten Spannung. »Diese zunächst kleine Anomalie weckte sofort unser Interesse. Ferroelektrizität stand aber bereits relativ früh als eine mögliche These im Raum«, erinnert sich Fichtner. Zahlreiche weitere unabhängige Versuche unterstützten diese These schließlich sehr eindeutig. Damit war klar: AlScN-Kristal-

## 1. Preis: Dr. Simon Fichtner

# Ferroelektrisches Material für Next Generation Computing

Die Entdeckung, dass Aluminiumscandiumnitrid ferroelektrische Eigenschaften besitzt, hat für Aufsehen in der Fachwelt gesorgt. Das Forschungsprojekt von Dr. Simon Fichtner kann einen enormen Leistungssprung bei Elektronikbauteilen für das Next Generation Computing ermöglichen.



Bei den Messergebnissen von Dr. Simon Fichtner glaubten Experten anfangs an einen Fehler.

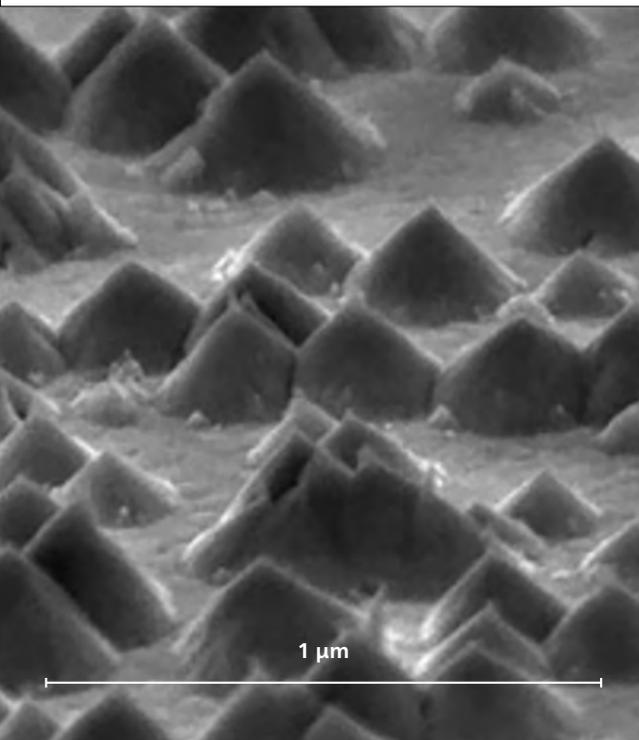
Fotos: Julia Siekmann, CAU  
Mikroskopbild: Simon Fichtner

## Hugo-Geiger-Preis

# Ehrenpreis für Nachwuchs- wissenschaftler

Mit dem Hugo-Geiger-Preis zeichnet das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie drei hervorragende Promotionsarbeiten aus. Kriterien der Beurteilung sind: wissenschaftliche Qualität, wirtschaftliche Relevanz, Neuartigkeit und Interdisziplinarität der Ansätze.

Von Mehmet Toprak



Die Kristallstruktur ferroelektrischer Materialien lässt sich durch elektrische Signale ändern. Nach Eintauchen in eine Säure wird der Unterschied im Rasterelektronenmikroskop sichtbar.

le ändern nach dem Anlegen einer Spannung ihre elektrische Ausrichtung – ihre atomare Struktur ist gewissermaßen elektrisch schaltbar. Sie sind also ferroelektrisch und damit in der Lage, bestimmte Zustände zu speichern.

Ferroelektrische Bauteile versprechen etwa im Bereich Next Generation Computing oder Leistungselektronik große Fortschritte. Hier ermöglichen sie als quasi intelligente Materialien deutlich verbesserte Genauigkeit, Geschwindigkeit und Energieeffizienz. Zudem dienen sie aufgrund ihrer piezoelektrischen Eigenschaften als Aktuator oder Sensor.

Überraschend für die Forschenden war, wie stark die ferroelektrischen Eigenschaften ausgeprägt sind. »Der Polarisations-effekt ist um zwei Größenordnungen größer als erwartet, nahezu alle Berechnungen der Fachwelt waren von viel kleineren Werten ausgegangen«, sagt Fichtner. Darin lag auch der Grund für die Skepsis, die Fichtner und seinem Team aus der Fachwelt anfänglich entgegenschlug. »Als wir 2018 unsere Ergebnisse auf einem Kongress vorstellten, kamen kritische Kommentare aus dem Publikum. Einige dachten, wir hätten unsere Messungen falsch interpretiert. Oder forderten uns auf, weitere Beweise zu liefern. Manchmal muss man als Wissenschaftler eben auch Gegenwind aushalten«, erzählt Fichtner.

Doch das Fraunhofer ISIT-Team war sich sicher, dass die vorgelegten Ergebnisse korrekt waren. Durch die Veröffentlichung umfassender Messergebnisse konnte Fichtner schließlich auch die Fachwelt von der Entdeckung überzeugen.

Das Interesse ist seitdem weiter gestiegen. Die US-amerikanische Forschungsbehörde DARPA fördert die Erforschung der Anwendung von AIsCN durch eine eigene Ausschreibung. Auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat das Potenzial des ferroelektrischen Materials erkannt und unterstützt die entsprechende Anschlussforschung mit 2,3 Millionen Euro. »Daneben haben wir Industrieaufträge für Bauteile auf AIsCN-Basis in Höhe von etwa vier Millionen Euro verbucht«, freut sich Fichtner. ■

Zum zweiten und dritten Preis: ►

## 2. Preis: Dr. Annelie Schiller

# Holographische Vermessung bewegter Objekte

Der Fraunhofer-Forscherin Dr. Annelie Schiller ist es gelungen, bewegte Objekte holographisch zu vermessen. Durch dieses Projekt eröffnen sich neue Anwendungsfelder in der Qualitätskontrolle: Die Prüflinge müssen während der Messung nicht mehr wie bisher angehalten werden.

**D**ie digitale Holographie wird bereits zur Qualitätskontrolle in der industriellen Fertigung eingesetzt. Dafür muss bisher das zu prüfende Teil allerdings absolut stillstehen. In einem Projekt des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg sollte das geändert und die Vermessung bewegter Objekte möglich gemacht werden – egal ob linear bewegt oder rotierend. Daran arbeitete die direkt von der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg kommende Wissenschaftlerin Annelie Schiller. Das Ergebnis ihrer Arbeit wurde jetzt mit dem 2. Platz des Hugo-Geiger-Preises ausgezeichnet.

Zur Erfassung eines Objekts mittels digitaler Holographie wird das Objekt mit kohärentem Laserlicht flächig beleuchtet. Referenzlicht überlagert das von dort reflektierte oder gestreute Licht. So entsteht ein zweidimensionales Interferenzbild, das eine Digitalkamera aufzeichnet. Aus diesem Bild lässt sich die Topographie-Information der Oberfläche berechnen. Das geht nicht nur sehr präzise, sondern auch sehr schnell: Bis zu zehn Millionen 3D-Punkte lassen sich in 100 Millisekunden mikrometergenau aufnehmen. »Das Team und ich vermuteten von Anfang an, dass auch die Messung bewegter Objekte möglich ist«, erinnert sich Annelie Schiller. »Zuerst haben wir bewegte Münzen und andere linear bewegte Objekte gemessen. Dann



Dr. Annelie Schiller, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IPM.

»Bis zu zehn Millionen 3D-Punkte lassen sich in 100 Millisekunden mikrometergenau aufnehmen.«

wurde der Fokus auf rotierende Zylinder gelegt.« Ausführlich beschrieben hat sie das Projekt in ihrer im Januar 2020 abgegebenen Doktorarbeit.

Schritt für Schritt hat Schiller den Einfluss der Objektbewegung auf eine Messung erkundet und mit ihrem Team ein Messkonzept entwickelt. Essenziell hierbei ist die Bewegungsrichtung: Während der Messung ist eine Bewegung lateral möglich, axial ist die Bewegung zunächst aber störend. Mit dem selbstkonzipierten Sensor kann Schiller zum einen die Höheninformation aus einem einzigen Kamerabild rekonstruieren und zum anderen durch eine aktive Kompensation die störende axiale Bewegungskomponente eliminieren. Da das Objekt nicht mehr bei der Messung angehalten werden muss, genügt es, einen kleinen Bereich des Objekts zu beleuchten und aufzunehmen. Die Einzelmessungen werden dann zu einer Gesamtmessung kombiniert. Mit Erfolg: »Es ist uns gelungen, sowohl linear bewegte als auch rotierende Objekte holographisch zu vermessen. Das Konzept funktioniert«, erklärt Schiller.

**Für rotierende Bewegungen konnte Schiller einen überraschenden Zusammenhang beweisen:** Die störende axiale Bewegungskomponente ist unabhängig vom Radius des Objekts. Sie hängt allein von zwei Größen ab: von der Rotationsgeschwindigkeit und von der Sensorposition. Dies ist essenziell für die Vermessung komplexer Teile wie z. B. Zahnräder.

Gerade Zahnräder sind wichtige und sicherheitsrelevante Bestandteile in Maschinen, bei denen es auf höchste Qualität ankommt, beispielsweise bei Flugzeugantrieben oder auch im Getriebe von Elektroautos. Die hier verbauten Zahnräder müssen exakt gefertigt sein, um Funktionsfähigkeit, Effizienz und niedrige Geräuschentwicklung zu garantieren. Die Forschung des Fraunhofer IPM macht es möglich, Produkte mit einer Genauigkeit von unter einem Mikrometer zu vermessen: schnell, präzise und flächig. Der Industrie eröffnet die holographische Messung bewegter Objekte neue Chancen für die Qualitätskontrolle in der Produktion: Die Durchsätze können erhöht und neue Anwendungsgebiete erschlossen werden. ■

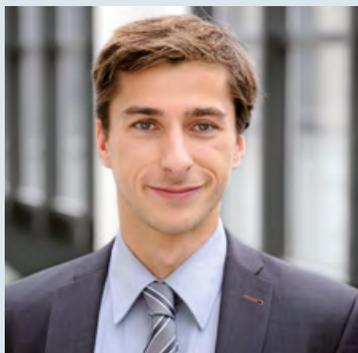
### 3. Preis: Dr. Christian Kalupka

## Ultrakurzpuls-Laser in Glas: Der perfekte Schnitt

Was passiert, wenn ein Laserstrahl in Glas eindringt? Dieser Frage ist Dr. Christian Kalupka nachgegangen. Er hat dabei Vorgänge auf mikroskopischer Ebene beobachtet, die sich im Bereich von Femtosekunden abspielen. Aus dem Projekt sind innovative Verfahren zur mikrometergenauen Bearbeitung von Glas und anderen Materialien entstanden. Die Technologie könnte eines Tages auch im Quantencomputer zum Einsatz kommen.

**L**asertechnik wird heute schon für das Schneiden oder die Bearbeitung von Glas genutzt, etwa bei Handydisplays. Um die Technologie weiterzuentwickeln und neue Anwendungen zu ermöglichen, wollten Dr. Christian Kalupka vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und sein Team genauer verstehen, was passiert, wenn der Laser ins Glas eindringt. Denn auf mikroskopischer Ebene entfaltet sich ein hochdynamisches Wechselspiel zwischen Licht und Materie. Alles geschieht in einer extrem kurzen Zeitspanne, in Piko- oder Femtosekunden. Um diese Vorgänge zu erfassen, nutzten die Forschenden ein sogenanntes Pump-and-Probe-Mikroskop, das eigens am Institut entwickelt wurde und eine Auflösung in Femtosekunden ermöglicht. »Die Einzelbilder ergeben dann eine Art Daumenkino, das zeigt, was der Laser im Glas anrichtet und wie das Glas den Fokus des Lichtstrahls verformt.«

**Kalupkas Arbeiten über das Verhalten von Laserstrahlen in Glas** würdigt jetzt der Hugo-Geiger-Preis. »Energiedisposition von ultrakurz gepulster Laserstrahlung in Gläsern«, so lautet der Titel der Dissertation, die er zwischen 2015 und 2019 am Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University angefertigt hat. Im Rahmen der engen Kooperation der Uni mit dem Fraunhofer ILT war er gleichzeitig Teamleiter am Institut.



Dr. Christian Kalupka, Team Manager Glass Processing, Fraunhofer ILT.

Der Preis gilt aber nicht nur dem besseren Verständnis der Lasertechnik, das Kalupka erarbeitet hat, sondern auch den praktischen Ergebnissen aus dem Labor. Auf Basis seiner Erkenntnisse setzte sich das Team um Kalupka ein ambitioniertes Ziel: das präzise Schneiden von Gläsern in hoher Geschwindigkeit via Ultrakurzpuls-Laser. Wenn auch der Versuchsaufbau schon feststand und die Simulationen alle nötigen Einstellungen und Parameter des Lasers vorgaben, war dies doch die schwie-

rigste Phase des Projekts. »Für Glasbearbeitung in dieser Präzision müssen der Laser, die Optiken und die dazugehörigen Spiegel auf den Mikrometer genau positioniert sein. Das Justieren der Komponenten läuft zwar automatisiert ab, doch wir haben letztendlich monatelang herumprobiert und justiert, bis alles genau gepasst hat«, erinnert sich Kalupka. Eine große Portion Geduld und Durchhaltevermögen, auch das gehört zu den Qualitäten, die man als Forscher mitbringen muss. »Doch als ich dann zum ersten Mal ein Stück Glas in der Hand hielt und wusste, dass es geklappt hat, war das ein echter Wow-Moment«, sagt Kalupka.

**Die Forschenden am Fraunhofer ILT haben einen Meilenstein gesetzt.** Sie haben einen Prozess konzipiert, bei dem unterschiedliche Glassorten sehr schnell und auf den Mikrometer genau bearbeitet werden können. Keine Mikrorisse, keine brüchigen Kanten, keine Defekte. Der perfekte Schnitt. Zudem ist die Technik skalierbar. Es lassen sich also auch große Gläser von bis zu einem Meter Länge bearbeiten. »Da wir jetzt im Detail verstanden haben, wie das Glas und der Laser zusammenwirken, können wir für beliebige Anwendungen einen maßgeschneiderten Prozess entwerfen«, erklärt Kalupka. Für die Industrie rücken echte Innovationen und neue Geschäftsmodelle in Reichweite.

Kalupka hat bereits die nächsten Ziele ins Auge gefasst. Die Technologie der Glasbearbeitung lässt sich auch auf andere Materialien wie beispielsweise Silizium übertragen oder in modifizierter Form anwenden. So könnte man Komponenten für Hochleistungselektronik entwickeln, die bei der 5G-Technik zum Einsatz kommen. Auch bei der Entwicklung des Quantencomputers gibt es einen enormen Bedarf an neuen Bausteinen und Materialien. Ein vielversprechender Kandidat ist Lithiumniobat. »Das ist ein kristalliner Feststoff, in dessen Inneren sich durch Laserlicht einzelne Photonen erzeugen lassen. Für unseren Ultrakurzpuls-Laser ist das ein spannendes Anwendungsfeld«, sagt Kalupka. Und eines, das vom Hugo-Geiger-Preisträger voraussichtlich wieder jede Menge Geduld und Durchhaltevermögen erfordert. ■

# Sparsamer Funkverkehr

Milliarden kleiner Elektrogeräte sind heute im »Internet der Dinge« über Funk miteinander verknüpft. Ihr Energieverbrauch ist enorm.

Von Tim Schröder



Dringend gesucht: energieeffiziente Sensorknoten. Acht Fraunhofer-Institute forschen gemeinsam daran.

**D**ie Elektronik der Zukunft ist klein, intelligent und omnipräsent. Niemand kennt die genaue Zahl, Fachleute aber schätzen, dass uns weltweit bereits heute rund 10 Milliarden kleiner Sensoren oder Messgeräte umgeben, die ihre Daten per Funk und Internet austauschen: Messfühler, die automatisch den Nährstoffgehalt im Acker messen, Hauskameras, deren Bild man im Urlaub per Handy abrufen, um zu schauen, ob daheim alles in Ordnung ist, oder Sensoren, die registrieren, dass eine Maschine im Leerlauf dreht und Energie vergeudet. Angesichts der wachsenden Zahl dieser Geräte, sogenannter Sensorknoten, sprechen Fachleute schon seit einigen Jahren vom Internet der Dinge, dem Internet of Things (IoT). Sensorknoten verraten, wenn etwas schief läuft, können Maschinen steuern und helfen dabei, den Überblick zu behalten. Kein Wunder, dass sie so beliebt sind. Bis zum Jahr 2030 dürfte sich die Zahl dieser schlaun Elektrohelfer auf rund 20 Milliarden Geräte verdoppeln, schätzt der Statistik-Dienst Statista.

Doch die vielen Sensorknoten verbrauchen bislang noch große Mengen an Energie. Bereits im Jahr 2013 entsprach der Energieverbrauch aller vernetzten Geräte weltweit gemäß einer Studie der Internationalen Energie Agentur dem Gesamtbedarf in ganz Deutschland. Deshalb haben sich vor drei Jahren acht Fraunhofer-Institute im Leitprojekt ZEPOWEL, kurz für Towards Zero Power Electronics, zusammengeschlossen, um besonders energieeffiziente Sensorknoten zu entwickeln. Im Laufe dieses Jahres werden gleich zwei Lösungen präsentiert, die die Herausforderung von zwei verschiedenen Seiten angehen: Zum einen der »Smart-City-Knoten«, ein kleiner autarker Sensorknoten, der sich von ganz allein mit Energie versorgt und Umweltdaten sammelt – beispielsweise über die Luftqualität in Städten. Und zweitens ein Sensorknoten, der den Betriebszustand von Maschinen, Motoren oder Pumpen erfasst, um deren Energiebedarf drastisch zu verringern.

### Controller im Tiefschlaf

Kern dieser Sensorknoten ist ein sehr sparsam arbeitendes zentrales Rechenmodul, der IoT-Core, der Neuentwicklungen aus allen beteiligten Fraunhofer-Instituten enthält. Dazu gehören effiziente Mikro-Controller, Batterien und Steuerelektronik oder Energiewandler mit hohem Wirkungsgrad. Hinzu kommt Expertise in Sachen sicherer Funkprotokolle. Der Smart-City-Knoten kommt ganz ohne Energie-

quelle aus, weil er sich selbst mit Strom versorgt. Er verfügt über einen Energiewandler, der Energie aus Bewegungen und Erschütterungen gewinnt. Wird der Sensorknoten gerade nicht benötigt, fällt er in einen Tiefschlaf-Modus. In diesem Zustand verbraucht er nur noch wenige Nanowatt.

### Smarte Knoten – auch für Medizintechnik

Die ersten Smart-City-Knoten von der Größe einer Streichholzschachtel sollen in den kommenden Monaten auf Autos oder Bussen eingesetzt werden, um Feinstaub in der Stadtluft zu messen. »Diese Knoten sind winzig, wartungsfrei und kostengünstig und können an vielen Stellen eingesetzt werden – damit erhält man ein sehr feinmaschiges Messnetzwerk«, sagt Erik Jung, Projektmitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, das die Entwicklungen aus den beteiligten Instituten zu einem funktionstüchtigen Ganzen zusammengefügt hat. Künftig könnten solche smarten energiesparenden Knoten auch für die Kennzeichnung von Medizingeräten in Kliniken genutzt werden – etwa von tragbaren Ultraschallgeräten. Im Notfall könnte man über Funk die aktuelle Position der Geräte abrufen und das nächstgelegene schnell finden.

Die in ZEPOWEL entwickelten Sensorknoten für die Maschinensteuerung sind – zusammen mit der erforderlichen Leistungselektronik – deutlich größer als die Smart-City-Knoten. Sie bringen es je nach Einsatzort auf die Größe einer Halbliter-Bierdose oder eines Milchkartons. Auch müssen sie nicht unbedingt energieautark sein, weil sie als Steuermodul mit den Maschinen verknüpft werden. Ihre wichtigste Aufgabe ist, den Stromverbrauch der Maschinen zu verringern – und dabei selbst möglichst wenig Energie zu verbrauchen.

Schließlich gibt es auch heute noch Maschinen, die von Hand an- und abgestellt werden. Ist ein Auftrag abgearbeitet, drehen sie im Leerlauf weiter, bis man den Knopf drückt. Der neue Sensorknoten enthält jetzt neben der Funk- und Messtechnik Leistungswandler, die die Maschine nach Bedarf hoch- und runterfahren oder auf die gerade benötigte Drehzahl bringen. »Statt des einfachen An und Aus verfügen die Maschinen mit unseren Leistungswandlern und der intelligenten Steuerung im IoT-Core quasi über ein Gaspedal, das sie an den aktuellen Bedarf anpasst und Spannung und Strom entsprechend regelt. Sie sind somit nahtlos in eine digital gesteuerte Produktion integriert«, erklärt Jung. ■

»Diese Knoten sind winzig, wartungsfrei und kostengünstig.«

Erik Jung,  
Fraunhofer IZM

Bis 2030 dürfte sich die Zahl der Elektrohelfer auf rund **20** Milliarden Geräte verdoppeln.



CHILE

## Nachhaltige Abfallentsorgung in der Lachszucht

Jedes Jahr verschmutzen an die 300 000 Tonnen Fäkalien, Futterreste und Antibiotika aus Aquakulturen chilenische Gewässer. Eine Ausgründung aus Fraunhofer Chile hat zusammen mit der Firma Novatech das System Biolift zur nachhaltigen Abfallentsorgung in der Lachsindustrie entwickelt.

Biolift fängt einen Großteil der organischen Abfälle auf und verhindert, dass sich die Sedimente auf dem Grund von Meer und Seen ablagern. Dort führen sie zu Überdüngung, erhöhtem Bakterienwachstum und, infolgedessen, zu Sauerstoffmangel und totem Gewässergrund. Auch Medikamentenrückstände filtert das System zuverlässig.

Am Boden des Zuchtkäfigs installiert, hebt Biolift die organischen Abfälle über ein Saugsystem sanft an die Oberfläche, bevor sie auf den Grund gelangen. Der so zurückgehaltene Schlamm wird noch vor Ort dehydriert und an Land gebracht. Aus dem entwässerten Abfall kann Energie gewonnen werden oder es können neue Produkte entstehen, zum Beispiel Düngemittel. Nur ein Bruchteil der Ablagerungen landet auf einer Deponie.



Chile ist, nach Norwegen, der weltweit zweitgrößte Exporteur von Zuchtlachs.

# Fraunhofer international



Mehr Infos:

[www.fraunhofer.de/international](http://www.fraunhofer.de/international)



Dr. Natalia Sandetskaya vom Fraunhofer IZI (I.) und eine Feldkrankenschwester vom KCMC bei der Feldstudie in Tansania.



TANSANIA

## Schnelltest für Augeninfektion Trachom

Ein Trachom ist die weltweit häufigste Ursache für Erblindung. Fraunhofer-Forschende haben jetzt einen chipbasierten Test entwickelt, der eine schnelle Diagnose und frühzeitige Behandlung ermöglicht.

Für den molekularbiologischen DjinniChip des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI ist kein Labor nötig, die Testauswertung kann ohne Geräte und mit bloßem Auge erfolgen. Ein Trachom wird durch Bakterien verursacht und ist hochansteckend. Vor allem in tropischen Regionen ist die Erkrankung verbreitet. Das Fraunhofer-Team entwickelte den Test

in Kooperation mit dem Kilimanjaro Christian Medical Centre in Tansania, das über eine umfangreiche Proben-sammlung von Augenabstrichen verfügt. Der DjinniChip lieferte bei den Proben schnell Ergebnisse. Zudem kostet er nur einen Bruchteil der herkömmlichen Testmethoden.

Die etwa 40 Millionen Trachom-Betroffenen werden bisher vor allem durch Massenmedikation therapiert. Tritt die Erkrankung in einem Dorf gehäuft auf, werden alle Bewohner präventiv mit Antibiotika behandelt. Das verursacht unter anderem vermeidbare Antibiotika-Resistenzen.



## EUROPA

## Fußimplantate aus dem 3D-Drucker

Zusammen mit elf europäischen Partnern, darunter der FC Barcelona, entwickelt das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB ein Herstellungsverfahren für personalisierte Implantate für Fußverletzungen, vor allem an Sehnen und Gelenken.

Die Forscherinnen und Forscher wollen nicht nur die Genesungszeit halbieren, sondern auch die Funktionalität des Gewebes um 10 bis 15 Prozent steigern. Die passgenau auf den Patienten zugeschnittenen Implantate sollen mithilfe innovativer 3D-Druckverfahren aus Biopolymeren, wie sie auch im Körper vorkommen, angefertigt werden. »Damit diese Biopolymere zusammen mit den Wachstumsfaktoren und den Zellen

mit einem 3D-Drucker verarbeitet werden können, müssen sie fließfähig sein«, erläutert Dr. Achim Weber vom Fraunhofer IGB. »Wir formulieren und entwickeln daher kollagen- und gelatinebasierte Biotinten, die erst nach dem Drucken durch Quervernetzung zu festen Biopolymeren werden.«

Fußverletzungen zählen zu den häufigsten im Fußball, der »Footballer's ankle« ist berüchtigt: Durch häufiges Schießen wird das Sprunggelenk überlastet und entzündet sich.



## EUROPA

## Metalle recyceln statt Bodenschätze abbauen

Im rohstoffarmen Europa ist Recycling die wichtigste Quelle für Chrom, Nickel, Kupfer und Co. Um hier die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie zu stärken, entwickelten das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und die Cronimet Ferroleg. GmbH eine neue Sensortechnik, die Legierungen

in Metallschrotten wesentlich schneller und genauer erkennt. Mit der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS) können sogar in kleinen Schrottteilen mehr als 20 Sonderlegierungen identifiziert werden – automatisch, schnell und berührungslos.

So wird mehr verarbeitet und eine höhere Sortenreinheit erzielt. Diese Expertise bringt das Fraunhofer ILT nun in das EU-Projekt REVaMP mit ein. Hier soll ein Sensor für den Einbau in bestehende Industrieanlagen entwickelt werden.

Ein neuer Sensor macht das Recycling metallischer Rohstoffe um ein Vielfaches effizienter.



Bereits im Oktober 2019 absolvierte Volocopter einen Testflug über der Marina Bay in Singapur.



## SINGAPUR

## Lufttaxis – und sie fliegen doch!

Dorothee Bär, CSU-Staatsministerin für Digitales, musste einst Spott für ihre Vision von Flugtaxis ertragen. Nun wird der Traum urbaner Luftmobilität bald Wirklichkeit. Volocopter, der deutsche Lufttaxi-Pionier aus Bruchsal, wird diesen Dienst in Singapur anbieten – innerhalb der kommenden drei Jahre und in Zusammenarbeit mit lokalen Institutionen, angefangen mit Fraunhofer Singapur an der Nanyang Technological University.

»Die Forschungsinstitute der Stadt spielen dabei eine wesentliche Rolle. Themen wie Streckenvalidierung für den autonomen Betrieb, Materialwissenschaft und Forschung zur Batterietechnologie sind für unseren langfristigen Geschäftserfolg sehr wichtig«, sagt Florian Reuter, Geschäftsführer von Volocopter.

Volocopter-Flugtaxis sind emissionsfreie, elektrisch angetriebene Luftfahrzeuge, die senkrecht starten und landen. Sie sind als Ergänzung zur städtischen Mobilität gedacht und fliegen bis zu zwei Passagiere direkt und leise an ihr Ziel. Das Unternehmen will damit erschwingliche Flugtaxi-Dienste in den Megastädten dieser Welt etablieren.

# Zum Wegwerfen zu schade

Eine Welt ohne Abfall, in der alles in einem ewigen Kreislauf wieder und wieder verwertet wird – Utopie oder machbar?

Von Dr. Sonja Endres



**D**ie Natur kennt keine Abfälle. Was sie in Perfektion beherrscht, lernt der Mensch gerade. Dabei haben der deutsche Chemiker Michael Braungart und der US-amerikanische Architekt William McDonough bereits Ende der 1990er-Jahre das »Cradle-to-Cradle«-Konzept einer konsequenten Kreislaufwirtschaft entwickelt. Danach sollen Produkte entweder vollständig biologisch abbaubar sein oder sich endlos weiterverwenden lassen – von der Wiege zurück zur Wiege (»Cradle-to-Cradle«) statt zur Bahre. Dabei gehe es nicht, so schreibt Braungart 2009 in der ZEIT, um Verzicht. Kreislaufwirtschaft gilt heute als Schlüsselstrategie, mit der sich Wohlstand sichern, Ressourcen erhalten und die Klimaziele erreichen lassen. Die Europäische Union verabschiedete zuletzt im März 2020 einen Aktionsplan Kreislaufwirtschaft als zentrales Element des Green Deals.

Dass der Wandel von einer linearen Wirtschaft des »Nehmen – Nutzen – Weg-

werfen« hin zu einer zirkulären, biobasierten keine Utopie bleiben muss, zeigen Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Projekt EVOBIO. 19 Institute aus unterschiedlichen Forschungsbereichen sind mit an Bord – von Bioverfahrenstechnik über Bauphysik und Mikrotechnik bis hin zur angewandten Polymerforschung. Viele Teilprojekte sind miteinander verbunden. »Wir wollen die industrielle Wertschöpfungskette neu denken«, sagt Dr. Markus Wolperdinger, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart, das EVOBIO koordiniert. Dafür hat die Fraunhofer-Gesellschaft außerplanmäßig im Corona-Krisenjahr 2020 finanzielle Mittel bereitgestellt. Das Ziel: Die Kompetenzen der Institute zu bündeln für einen Modernisierungsschub, der den Strukturwandel der Industrie forciert. Innerhalb eines halben Jahres entwickelten die Forscherinnen und Forscher neue Ideen, Konzepte und technische Lösungen – Fortsetzung garantiert. ►

Zu Beginn der 1960er-Jahre wurden pro Kopf etwa 220 bis 255 Kilogramm Haushaltsabfälle produziert. 2019 war es mit 457 Kilogramm rund das Doppelte.





Mit Abwasser gezüchteter Kopfsalat. Sensoren überwachen kontinuierlich den Stickstoff-Gehalt.



Der Klärschlamm wird in einem Faulturm von Bakterien zu Biogas umgewandelt, mit dem sich Strom und Wärme erzeugen lassen.

»Stoffströme müssen verringert und es muss eine konsequente Produktpolitik implementiert werden, damit mehr Rohstoffe im Kreislauf geführt werden können.«

Prof. Vera Susanne Rotter, Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen, Mai 2020

## Wenn die Kläranlage zur Gemüsefarm wird

Abwasser steht im Mittelpunkt des größten EVOBIO-Teilprojekts, der »Kläranlage der Zukunft«. Rund zehn Milliarden Kubikmeter fallen jedes Jahr in Deutschland an. »Bisher bauen die Kläranlagen einfach nur die Inhaltsstoffe im Abwasser ab, ohne sie zu nutzen. Wir betrachten die Inhaltsstoffe als Wertstoffe und versuchen, sie in Produkte umzuwandeln«, erklärt Dr.-Ing. Ursula Schließmann, Abteilungsleiterin Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik am Fraunhofer IGB.

Auf dem Gelände der städtischen Kläranlage in Ulm bauten die Forscher eine Pilotanlage zur Hochlastfaulung für Klärschlamm, der nicht nur Schadstoffe, sondern auch Nährstoffe wie Phosphor oder Ammonium-Stickstoff enthält. Klärschlamm wird in Deutschland heute überwiegend verbrannt. »Unsere Anlage ermöglicht einen sehr effizienten biologischen Abbau des organischen Anteils, sodass neben Biogas feste Gärreste und nährstoffreiches Schlammwasser zur weiteren Nutzung verfügbar sind«, sagt Dr. Marius Mohr, Leiter des Innovationsfelds Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung am Fraunhofer IGB.

Schließmann und ihr Team experimentieren mit Mikroalgen, die die Nährstoffe aus dem Schlammwasser herausfiltern und für ihr Wachstum verwenden. »Die Herausforderung liegt darin, geeignete Organismen zu finden, die die Nährstoffe aus dem Schlammwasser ziehen können und zusätzlich verwertbare Stoffe herstellen«, so Schließmann. Ihre Suche war erfolgreich: Die Mikroalgen *Monodopsis subterranea* und *Phaeodactylum tricorutum* filtern nicht nur zuverlässig, sondern produzieren auch ein Biostimulans, das das Immunsystem von Pflanzen stärkt. Im landwirtschaftlichen Anbau hilft es, den Einsatz von Fungiziden zu reduzieren und das Grundwasser sauber zu halten.

Das nährstoffreiche Schlammwasser eignet sich zudem für den wassergestützten, sogenannten hydroponischen Gemü-

## »Wir wollen die industrielle Wertschöpfungskette neu denken.«

Dr. Markus Wolperdinger, Fraunhofer IGB



seanbau ohne Erde – in Zeiten zunehmender Dürreperioden und Wasserknappheit auch in Deutschland eine zukunftsweisende Idee.

Das Fraunhofer IGB konnte hier bereits im Vorgängerprojekt HypoWave Erfahrungen sammeln. Mithilfe verschiedener Technologien gelang es, Schadstoffe und Krankheitserreger zuverlässig aus dem Abwasser zu entfernen und Kopfsalat zu züchten. Forschende der Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik EMB in Lübeck arbeiten daran, das durch den Pflanzenanbau gereinigte Wasser für die Aufzucht von Speisefischen zu nutzen. Tierkot und Futterreste reichern das Wasser erneut mit Nährstoffen an, das so wieder für den Pflanzenanbau verwendet werden kann – eine innovative Verknüpfung von Agri- und Aquakultur.

Selbst aus dem entwässerten Klärschlamm können die Forscher noch Biochar und Bioöl gewinnen. Darüber hinaus ließe sich aus dem Abwasser über bioelektrische Systeme Wasserstoff herstellen. Erste Laborversuche zeigen, dass es mög-

lich ist, auf diese Weise Kläranlagen energieautark zu betreiben.

Je mehr Verwertungspfade an das Gesamtsystem »Kläranlage der Zukunft« angedockt werden, desto wichtiger ist eine ausgefeilte Prozessüberwachung und -steuerung. Wenn an einer Stelle etwas nicht funktioniert, wirkt sich das unmittelbar auf andere Verfahrensbausteine aus. Ist beispielsweise der Anteil an bestimmten Mikronährstoffen im Schlammwasser zu hoch, können sie sich hemmend auf das Algenwachstum auswirken. Schließmann betont: »Es ist ein sehr sensibles Gleichgewicht, das in der Natur mehr oder weniger reibungslos funktioniert. Wir müssen es erst herstellen.« Dabei hilft eine neu entwickelte Sensortechnik des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS. Die Sensoren zeichnen zahlreiche Parameter wie Stickstoff- und pH-Werte, unterschiedliche Lichtintensitäten, Durchflussgeschwindigkeit oder Druck kontinuierlich auf. Mit den gesammelten Daten füttern die Forscher selbstlernende Systeme, die die komplexe Anlage schließlich steuern sollen.

## Heute Abfall – morgen Rohstoff

Auch biobasierte Abfälle will das EVOBIO-Team als alternative Ressourcen erschließen. So nutzen beispielsweise Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV Reste aus der Rapsölherstellung, um daraus eine schützende Beschichtung für Lebensmittelverpackungen zu erzeugen. Dafür extrahieren sie Proteine aus Rapsschrot und bringen diese auf Zellulosefolie auf. Sobald die Proteine austrocknen, bilden sie ein dichtes Netz, durch das Sauerstoff kaum noch in die Verpackung eindringen kann. Die Nahrungsmittel sind so vor Oxidation geschützt, Qualität und Haltbarkeit bleiben garantiert. Bei vakuumierten Lebensmitteln sorgt die Barrierschicht dafür, dass das Partialdruckgefälle erhalten bleibt und der Sauerstoff nicht einströmen kann. »Die Lebensmittelherstellung verursacht erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen und ▶

verschlingt viel Energie. Da ist der Aufwand für eine gute Verpackung sicher gerechtfertigt«, sagt Dr. Cornelia Stramm, die am Fraunhofer IVV die Abteilung Materialentwicklung leitet. Aus Reststoffen lassen sich, davon sind sie und ihr Team überzeugt, hochwertige Verpackungen herstellen und gleichzeitig fossile Materialien ersetzen. Nicht nur mit Raps, auch mit Molke- und Kartoffelproteinen hat Stramm schon experimentiert, bald sind Ackerbohnen dran. »Im Prinzip haben alle Proteine eine Sperrwirkung gegenüber Sauerstoff, aber sie lassen sich nicht gleich gut aus den Reststoffen extrahieren«, erklärt sie. Mit Pflanzenwachsen wollen sie in der Verpackung zusätzlich eine Wasserdampfbarriere schaffen. Eugenol, ein Bestandteil von Thymianöl, soll die Lebensmittel vor Bakterien und Verderb schützen. Doch ätherische Öle verflüchtigen sich leicht. Um Eugenol in die Verpackungsmaterialien einbringen zu können, muss es mikroverkapselt werden.

### Thymianöl im Kunststoff

Dabei helfen Dr. Alexandra Latnikova und ihre Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP. Sie sind Spezialisten für die Mikroverkapselung von Additiven, also Zusatzstoffen, die die Eigenschaften des Trägermaterials beeinflussen. Additive sorgen beispielsweise dafür, dass Kunststoff besonders biegsam wird oder weniger leicht entflammbar ist. In vielen Fällen können Additive nicht pur in das Polymer eingebracht werden – sie brauchen eine schützende Hülle, weil sie oft instabil sind oder zu schnell freigesetzt werden. Steuern lässt sich die Freisetzung unter anderem durch das Material und den Aufbau der Kapsel. Latnikova und ihr Team arbeiten daran, synthetische Additive durch natürliche zu ersetzen. Sie experimentieren mit ätherischen Ölen, Enzymen und Phenolen, die zum Beispiel als Abfallprodukt bei der Weinherstellung, aber auch bei der Bioölproduktion in der »Kläranlage der Zukunft« anfallen. »Additive haben die meisten Menschen

»Die Bereitschaft ist da, neue Wege zu gehen.«

Dr.-Ing. Ursula Schließmann, Fraunhofer IGB



nicht auf dem Schirm, wenn es um eine nachhaltige Alternative zu erdölbasierten Kunststoffen geht. Dabei machen Additive manchmal bis zu 50 Prozent des Materials aus. Ohne biobasierte Additive keine biobasierten Kunststoffe«, stellt Latnikova klar.

Auch Dr. Michaela Müller vom Fraunhofer IGB will synthetische Inhaltsstoffe durch natürliche ablösen. Sie untersucht, wie man Funktionstextilien wasserabweisend und atmungsaktiv herstellen kann ohne herkömmliche, umweltschädliche Fluorkohlenwasserstoffe. Erfolgreich experimentieren sie und ihr Team mit Chitosan, einem Biopolymer, das unter anderem aus den Schalen von Krustentieren gewonnen wird. In der EU fallen jährlich rund 250 000 Tonnen Schalenabfälle an, weltweit mehr als 6 Millionen – eine ergiebige Rohstoffquelle. Auch Insektenhäute und -panzer, ein häufiger Reststoff bei der Tierfutter-Produktion, enthalten Chitin, aus dem Chitosan hergestellt wird.

Müller bringt Chitosan in Kombination mit einem speziellen Protein auf den

Stoff auf, das wegen seiner wasserabweisenden Eigenschaft Hydrophobin genannt wird und unter anderem in Pilzsporen zu finden ist. »Wir konnten mit Chitosan in den letzten Jahren bereits einige Erfahrungen sammeln. Durch einen physikalischen Trick ist es uns jetzt gelungen, es hydrophob zu machen und trotzdem Atmungsaktivität zu gewährleisten. Das kriegt man mit pflanzlichen Wachsen nicht hin, die haben keine Wasserdampfdurchlässigkeit«, erklärt Müller. Sie und ihre Kollegen arbeiten gerade daran, die chemische Verbindung zwischen Chitosan und Hydrophobin zu optimieren. Die Kombination soll nicht nur die wasserabweisenden Eigenschaften verstärken, sondern das Gewebe auch möglichst ölabweisend machen.

Grüne Mode liegt im Trend – das Interesse der Textilunternehmen an nachhaltigen Alternativen ist groß. In einer Umfrage von Statista aus dem Jahr 2019 gaben 57 Prozent der Verbraucher an, dass die Nachhaltigkeit/Recyclingfähigkeit ihnen beim Kauf von Mode wichtig sei. So setzen Müller und ihr Team ihre Forschungen seit dem Auslaufen der EVOBIO-Förderung Ende Dezember 2020 mit Geldern aus der Industrie fort.

Auch für die »Kläranlage der Zukunft« ist bereits klar, dass es weitergeht. Zahlreiche Unternehmen aus unterschiedlichsten Branchen wollen sich beteiligen – Anlagenbauer, Lebens- und Futtermittelhersteller, Chemie- und Energie-Konzerne, Sensorik-, Automatisierungs- und IT-Startups. »Die Bereitschaft ist da, neue Wege zu gehen. Die Firmen sehen einen Markt«, ist Dr. Ursula Schließmann vom Fraunhofer IGB überzeugt. ■

### 10. internationale Konferenz »Life Cycle Management«

Virtuelles Event, 5.–8. September 2021.  
Veranstalter: Fraunhofer IBP, Universität Stuttgart, Festo und DGNB.



Weitere Infos: [www.lcm2021.org](http://www.lcm2021.org)

Nur **9%**  
der über acht Milliarden  
Tonnen Kunststoff, die  
seit den 1950er-Jahren  
weltweit erzeugt  
wurden, wurden  
recycelt.

**Verpackungsabfälle**  
in Deutschland in Mio. t

1998: 14,1

2018: 18,9

**+ 25%**



Quellen Zahlen und Fakten:  
Statistisches Bundesamt, Deutsches  
Museum München, Umweltbundesamt,  
Heinrich-Böll-Stiftung, Circularity Gap Report 2020,  
Conversio-Studie »Stoffstrombild Kunststoffe 2019«

Im Jahr 2020  
waren nur  
**8,6%**  
der Weltwirtschaft  
zirkulär.

Von den **76 kg**  
Plastikmüll pro Person  
in Deutschland war 2019 die  
Hälfte Verpackungsabfall.

# Mit KI Lebensmittelabfälle reduzieren

Rund 12 Millionen Tonnen Lebensmittel landen jährlich allein in Deutschland im Müll. Intelligente Algorithmen helfen, die Verschwendung zu beenden.

Von Andrea Pletz

**D**er Löwenanteil der Lebensmittelabfälle entsteht in Privathaushalten, eine erhebliche Menge jedoch bereits bei der Herstellung. Die Gründe dafür sind vielfältig: Die Verarbeitungsketten sind komplex, Bedarfsschwankungen schwer zu prognostizieren und aus der unzureichenden Kenntnis der Verbrauchernachfrage resultiert Überproduktion. Im Forschungsprojekt REIF (Resource-efficient, Economic and Intelligent Foodchain) sucht Fraunhofer Lösungen. »Die Herausforderung besteht darin, zwischen Landwirt, Produktion und Verbraucher eine Verbindung zu schaffen, um die Lebensmittelverschwendung zu reduzieren und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit beizubehalten oder zu steigern«, erklärt Philipp Theumer vom Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV.

Daran arbeiten insgesamt 30 Partner aus Forschung und Industrie. Das gemeinsame Ziel: der Aufbau eines KI-Ökosystems mit einer Vernetzungsplattform, die die Lebensmittelverschwendung eindämmen soll. Dazu gehört unter anderem die KI-basierte Berechnung von Absatzprognosen, die sowohl für den Lebensmittelhandel als auch für die vorgelagerte Produktion interessant sind. Zudem werden zukünftig auch die Produktionsanlagen mithilfe von KI optimiert. REIF konzentriert sich auf drei Wertschöpfungsnetzwerke: die Herstellung von Backwaren, Molkerei- und Fleischprodukten. Hier sind die Produktionsprozesse komplex, fallen mit hohen Verlustraten besonders ins Gewicht und weisen einen vergleichsweise großen ökologischen Fußabdruck auf.



**52%**  
der Lebensmittel-  
abfälle entstehen in  
privaten Haushalten.

Backwaren gehören zu den Lebensmitteln, die am häufigsten weggeworfen werden.

»Die Herausforderung besteht darin, zwischen Landwirt, Produktion und Verbraucher eine Verbindung zu schaffen.«

Philipp Theumer, Fraunhofer IGCV

Das REIF-Team vom Fraunhofer IGCV ist für die Standardisierung von Datenstrukturen verantwortlich, damit die KI-Integration in Anlagen und Geschäftsprozesse vereinfacht und beschleunigt werden kann. Im Anwendungsfall der Molkerei wäre eine dynamische Anpassung der Produktmenge ideal. Dafür müssen anlagenspezifische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Die Lösung bieten KI-basierte Entscheidungshilfen, die bereits während des Produktionsprozesses greifen. Ein erster Prototyp, der die Pumpfähigkeit von Käsemassen vorhersagt, ist bereits entwickelt.

### Sensoren sollen Ausschussware vermeiden

Wie der perfekte Teig produziert und gleichzeitig die Anlaufzeit der Maschinen verkürzt werden kann, ist eine Frage im Bereich der Backwarenproduktion. KI-Verfahren sollen zur Ermittlung, Überprüfung und Steuerung der Qualität von Roh- und Zusatzstoffen dienen. Zu diesem Zweck werden Sensoren entwickelt, die beispielsweise Rückschlüsse auf die Qualität des Kuchenbodens erlauben. Dadurch können die optimalen Maschinenparameter schneller gefunden und Ausschussware vermieden werden.

Im dritten Anwendungsbereich, der Fleischverarbeitung, liegt der Fokus auf der Verlängerung der Mindesthaltbarkeit – ein weiterer wichtiger Aspekt, um Verschwendung zu reduzieren. Das Vorhaben ist komplex: Die Haltbarkeit der einzelnen Produkte muss ständig gemessen werden und einer Charge zuzuordnen sein. Im Mischprozess von Rohfleisch müssen unter anderem Kühlung und Mischdauer berücksichtigt werden. Alle Schritte von der Schlachthoflieferung des Tieres bis zur Verpackung müssen einem Datensatz zugewiesen werden können.

Die relevanten Daten für die KI-Algorithmen zu erheben, ist eine große Herausforderung. Mit erheblichem Aufwand müssen über einen längeren Zeitraum spezifische Daten gesammelt und geprüft werden. Das Herzstück des KI-Ökosystems ist eine Kommunikations- und Service-Plattform. Dabei soll zum Beispiel die Nachfrage des Kunden mit dem Angebot des Landwirts abgeglichen und Produktionskapazitäten optimiert werden. Die bereits trainierten Algorithmen werden bereitgestellt und mit den Unternehmensdaten kombiniert, die Daten und Prognosen entlang der gesamten Wertschöpfungskette miteinander verknüpft. Auf diese Weise könnten Schwankungen so prognostiziert werden, dass sie gegen null gehen und Überproduktion vermieden wird. ■

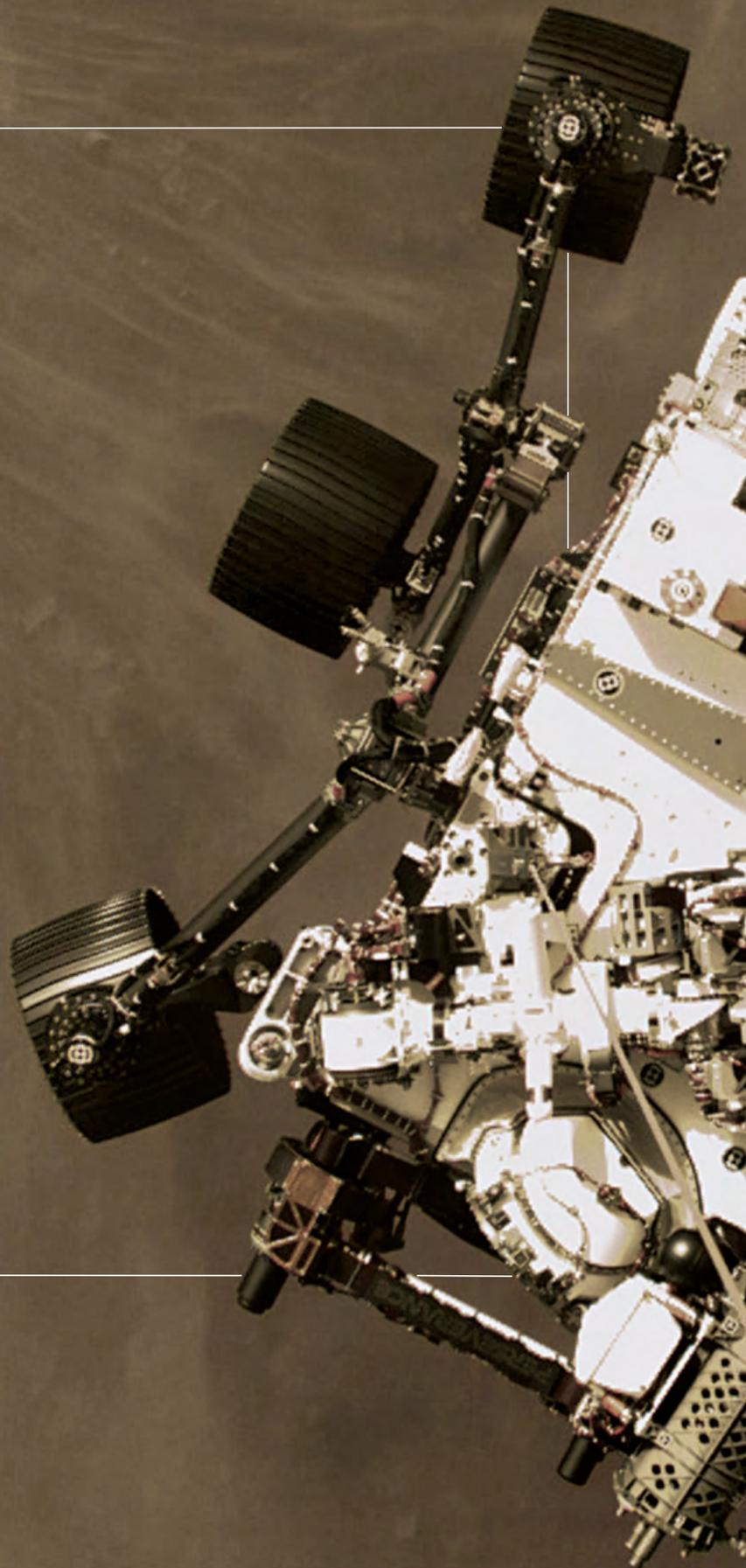


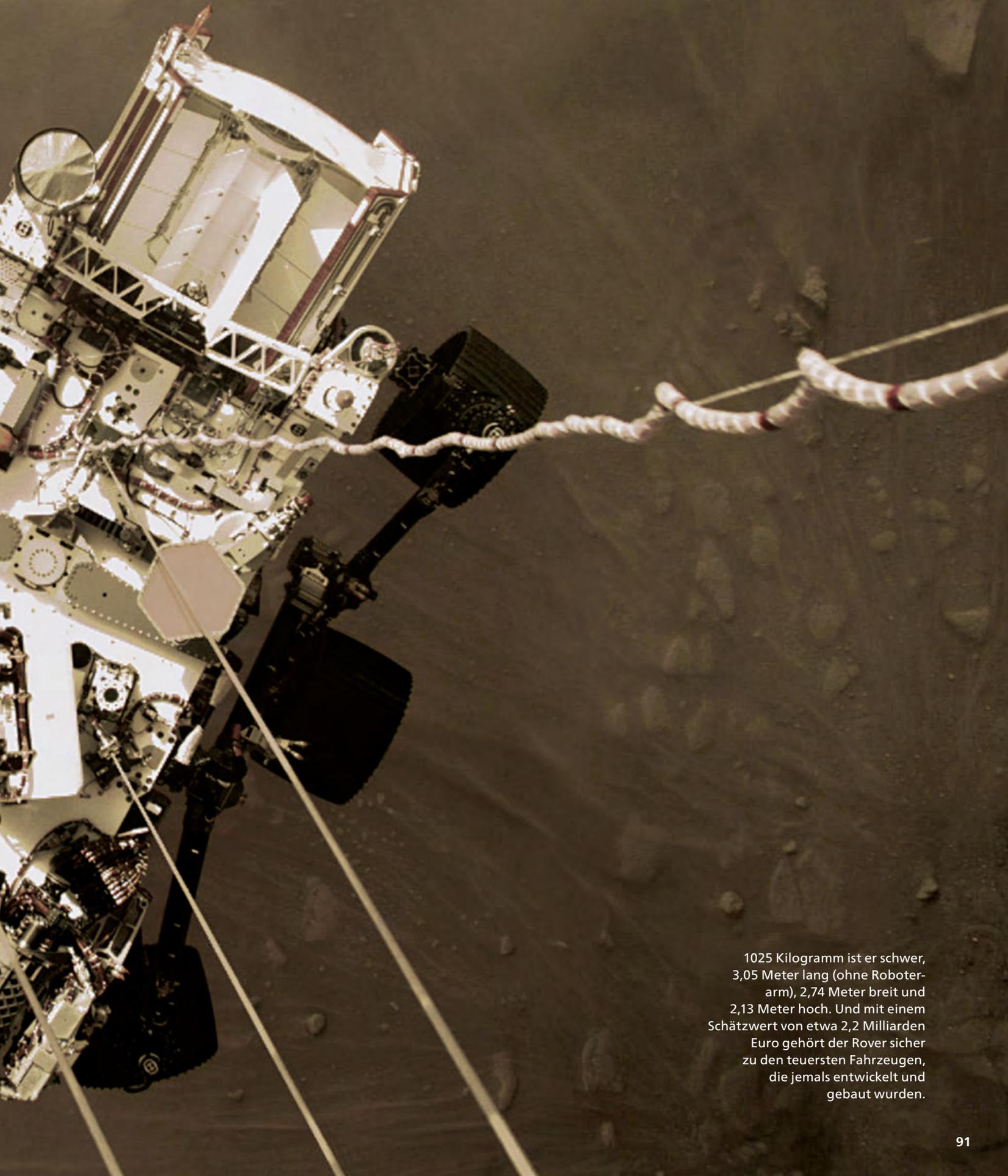
## Foto & Fraunhofer

# Fraunhofer auf dem Mars

472 Millionen Kilometer Anreise. Reisedauer 205 Tage. Parkplatz: Jezero-Krater. Hier hat der Mars-Rover Perseverance im Marsstaub seine Arbeit aufgenommen. Mit 23 Kameras und zwei Mikrofonen schickt die Marsmission faszinierende Eindrücke zur Erde. Mit an Bord: ein optischer Interferenzfilter des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST. Der Filter arbeitet in einem Sensor zur Staubcharakterisierung. Vor dem Start war der Filter 3000 Mal einem schnellen Temperaturwechsel ausgesetzt worden, um sicherzustellen, dass er auch auf dem Mars bei Temperaturen bis zu minus 120 Grad Celsius zuverlässig arbeitet. Die Sensorik für Strahlungsbelastung und Staub befindet sich an der Oberseite des Rovers. »Die Aufgabe des Filters ist es, nur Licht im ›nahen Infrarot-Bereich durchzulassen«, erklärt Projektleiter Stefan Bruns. »Dabei geht es darum, den Staub auf der Oberfläche des Mars zu erkennen.«

Foto: NASA/JPL-Caltech/USGS





1025 Kilogramm ist er schwer, 3,05 Meter lang (ohne Roboterarm), 2,74 Meter breit und 2,13 Meter hoch. Und mit einem Schätzwert von etwa 2,2 Milliarden Euro gehört der Rover sicher zu den teuersten Fahrzeugen, die jemals entwickelt und gebaut wurden.

## Interview

**Nico Rosberg, 35**

---

war 2016 mit Mercedes Formel-1-Weltmeister geworden. Wenige Tage nach dem Titelgewinn kündigte er seinen Rücktritt als Rennfahrer an. Inzwischen fordert er den Umstieg der Formel 1 auf Elektromotoren – und engagiert sich als Investor für Nachhaltigkeit und E-Mobilität.

# »Ich glaube an Wasserstoff!«

Verbrennungsmotoren haben ihn zum Weltmeister in der Formel 1 gemacht. Inzwischen setzt Nico Rosberg als Investor auf Nachhaltigkeit und neue Antriebskonzepte. Und ist sehr gerne bereit, das Steuer aus der Hand zu geben – für autonomes Fahren und sogar Fliegen.

**Interview: Josef Oskar Seitz**

\_\_\_\_\_ **Herr Rosberg, zehn Jahre Formel-1-Rennfahrer, 2016 Weltmeister – wie viel haben Sie persönlich zur Klimaerwärmung beigetragen?**

Rosberg: Ob ich ein schlechtes Gewissen habe? Da kann ich sagen: nein. Aber natürlich ist mir bewusst, dass die CO<sub>2</sub>-Belastung durch die Formel 1 nicht unerheblich war. Allerdings, wenn man sich die Zahlen im Detail anschaut, mehr durch die Reisen der Teams und die Anreisen der Fans. Sie dürfen aber nicht vergessen, welche Freude diese Leidenschaft macht oder zumindest gemacht hat – und das tatsächlich sehr vielen Millionen Menschen weltweit.

\_\_\_\_\_ **Ist Ihnen die Faszination erhalten geblieben?**

Ich kann sie noch nachvollziehen. Aber ich führe heute ein völlig anderes Leben.

\_\_\_\_\_ **Inzwischen begeistern Sie sich für neue Formen der Mobilität – E-Mobilität, Wasserstoffantriebe. Sie stecken Ihr Geld als Investor gerne in Nachhaltigkeitsprojekte. Was ist für Sie die Zukunft?**

Ich glaube an Wasserstoff, ich hoffe auf Wasserstoff. Und ich wünsche mir, dass es den Politikern gelingt, die Weichen richtig auf Zukunft zu stellen. Mir ist aber auch sehr schmerzhaft bewusst, dass Zukunftsprozesse und Wahlperioden nicht zusammenpassen. Wer die Zukunft wirklich gestalten will, der muss langfristig denken und weit über die Vier-Jahres-Zyklen der Politik hinaus. Aber: Das lohnt sich – für unser aller Zukunft. Vielen Dank übrigens, mir helfen da auch die Strategiepapiere und Studien von Fraunhofer.

\_\_\_\_\_ **Wird das autonome Fahren ein Traum bleiben?**

Ich glaube daran. Die Gefahr aktuell ist noch die Interaktion von Mensch und Maschine. Ich bin mir sicher, wir brauchen ein wirklich autonomes Fahren auf Level 5, bei dem die Insassen nur noch Passagiere sind und die Technik alle Verkehrssituationen bewältigt.

\_\_\_\_\_ **Wie schwer fällt es einem anerkannten Fahr-Profi, wenn er plötzlich das Steuer aus der Hand geben soll?**

Ich genieße es. Ich freue mich über den Gewinn an Lebensqualität. Und da genügt es mir völlig, die Strecken selber zu fahren, die auch wirklich Freude machen – mit einem tollen Auto bei schönem Wetter auf einer kurvigen Straße durch die Berge. ▶



Er hat sein Ticket schon gekauft: Investor Nico Rosberg vor einem Flugtaxi, wie es in Singapur bald starten soll.

»Vielen Dank übrigens, mir helfen da auch die Strategiepapiere und Studien von Fraunhofer.«

**Sind Sie ein schwieriger Beifahrer – dann, wenn ein Mensch und nicht die Maschine den Wagen steuert?**

Also meine Frau Vivian ist meistens ganz zufrieden mit mir.

**Als Investor setzen Sie auf Höhenflüge.**

Sie meinen die Flugtaxis? Tatsächlich habe ich in Volocopter und Lilium investiert, zwei vielversprechende deutsche Start-ups in diesem Bereich. Die autonom fliegenden Lufttaxis werden, davon bin ich fest überzeugt, nicht nur den Verkehr in den Städten umkrepeln. Sie werden unser ganzes Leben in den Städten verändern – sie eröffnen neue Möglichkeiten des Pendelns, entlasten die Straßen, steigern die Mobilität und machen damit letztlich unsere Städte lebenswerter.

**Unser Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO hat in Kooperation mit der Volocopter GmbH eine Akzeptanzstudie dazu erstellt. Die große Mehrheit der in einem Prototypen Befragten begrüßt die Alternative zum Autoverkehr – auch wenn 72 Prozent dann doch die Notlandefunktion noch »sehr wichtig« ist. Autonomer Stadtverkehr im Flugtaxi ist also nicht nur Science-Fiction?**  
Also ich habe mein Ticket schon gekauft, für Singapur. Und ich bin davon überzeugt, dass die ersten Flugtaxis auch hierzulande in den nächsten Jahren abheben werden.

**Wer in unserer Gesellschaft Gutes in die Breite bringen will, der muss zeigen, dass sich damit auch gutes Geld verdienen lässt. Was sind die Faktoren?**

Es geht tatsächlich um wirtschaftlichen Erfolg. Dafür allerdings müssen Sie für möglichst viele Menschen einen möglichst großen Nutzen schaffen. Sehen Sie, ich habe früh in TIER investiert, die Elektro-Scooter, die unsere Großstädte verändert haben. Sie haben eine neue Form von Mobilität ermöglicht, die Freude und Nutzen ideal verbindet. Da gehen wir übrigens gerade den nächsten großen Schritt. Die TIER-Nutzer können künftig die Akkus selbst in Ladestationen aufladen und bekommen dafür eine Gutschrift. Durch diesen Vorteil profitieren die Kunden. Dadurch profitiert auch das Unternehmen, das seine Kosten relevant senkt. Und dadurch profitiert auch die Umwelt, weil das nächtliche Aufsammeln der Roller mit dieselbetriebenen Transportern wegfällt.

**Wie unterscheidet sich das Leben des Unternehmers Rosberg von dem des Leistungssportlers?**

Ich lerne, geduldiger zu sein. Diese unglaubliche Verdichtung aller Anspannung in ein Rennwochenende gibt es natürlich nicht mehr. Stattdessen werden Verträge ausgehandelt, und das über Wochen und Monate. Wobei: Die Liebe zum Detail und das Wissen, dass echter Erfolg nur in einem Team zu schaffen ist – das ist mir auch in meinem Wirtschaftsleben geblieben.

**Was ist heute Ihre Motivation?**

Die Welt besser zu machen. Dabei hilft mir übrigens die Prominenz sehr, die ich meiner Zeit in der Formel 1 zu verdanken habe. Sie öffnet mir Türen und ermöglicht Kontakte – und so bringt der Rennsport meine Nachhaltigkeitsanliegen voran.

**Sie sind sicher für viele Fans mit Benzin im Blut vom Saulus zum Paulus geworden. Werden Sie deshalb häufig angefeindet?**

Klar, das kommt vor. Aber Gegenwind ist mir vertraut. Das kenne ich doch auch aus meiner Zeit als Rennfahrer.

**Tempo erleben Sie inzwischen in ganz anderer Form.**

Sie spielen aufs Speedreading an? Tatsächlich faszinieren mich Methoden, schneller zu lesen und Wissen effektiver aufnehmen zu können. Nebenbei: Diese Form von Geschwindigkeit ist völlig klimaneutral.

## Fraunhofer vor Ort

**Stand: Ende März.** Aufgrund der aktuellen Situation kann es zu Änderungen kommen. Bitte beachten Sie die Informationen der Veranstalter.



**Hannover 12. – 16. April 2021**

**Hannover Messe – digital**

Innovation. Inspiration. Interaktion. Mit interaktivem Konferenzprogramm, umfassenden Produktübersichten der Aussteller, Best-Case-Anwendungen, Video-Chats und Tutorials.

[www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de)



**München 4.–6. Mai 2021**

**transport logistic – online only**

Weltweite Leitmesse für Logistik, Mobilität, IT und Supply mit 55 Sessions, die Know-how-Transfer und Messe-Feeling ermöglichen.

[www.transportlogistic.de](http://www.transportlogistic.de)



**München, 7.–12. September 2021**

**IAA mobility**

Neu ausgerichtet auf ganzheitliche Mobilität, intelligente Verkehrslösungen und visionäres Denken – alles, was Mobilität von morgen formt und erlebbar macht.

[www.iaa.de/de/mobility](http://www.iaa.de/de/mobility)



**Mai 2021**

**Fraunhofer Solution Days 2021**

Präsentation. Inspiration. Vision. Technologie-Highlights und aktuelle Spotlights mit Fraunhofer-Expertinnen und -Experten. Thementage online ab Mai.

[www.fraunhofer.de/solutiondays](http://www.fraunhofer.de/solutiondays)

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Wollen Sie das Fraunhofer-Magazin direkt bei Erscheinen in Ihrem Briefkasten? Füllen Sie einfach die beigefügte Abo-Postkarte aus. Oder bestellen Sie direkt online unter <http://s.fhg.de/bestellen>





»Es ist wichtig, alle Akteure  
zusammenzubringen, um wissens-  
basierte Lösungen zu erarbeiten.«

Sophie Mok, Fraunhofer IAO