

# Fraunhofer

weiter.vorn

Das Magazin

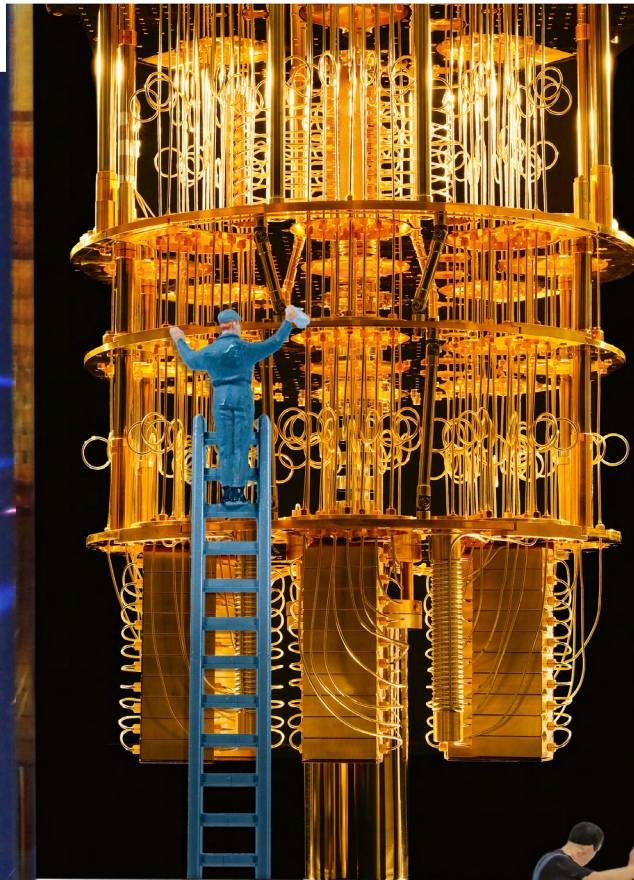
4/20

## Das bringt 2021

Eröffnen Sie  
das neue Jahr! 

Serie --> Gründer ---> Ausgründungen  
-----> Gründe für Fraunhofer

»Ohne Fraunhofer?  
Gäbe es unseren  
Spin-out nicht!«



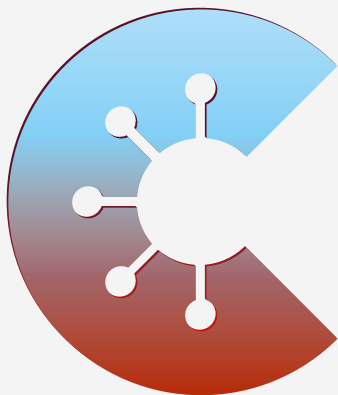
Quantencomputer

Neuromorphe  
Chips

Trusted  
Computing



#WeKnowHow  
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:

**SCHÜTZT ALLE,  
DIE IHNEN  
WICHTIG SIND.**

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



# Stellen wir uns den Herausforderungen!



Prof. Reimund Neugebauer  
© Fraunhofer/Bernhard Huber

»Was wird uns die Zukunft bringen?« Mit dieser Frage begann vor genau einem Jahr an dieser Stelle das Editorial zu diesem Magazin. Niemand hätte zu dieser Zeit wissen oder auch nur ahnen können, wie sich 2020 unter dem Eindruck von Covid-19 verändern sollte. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist, nach allem, was wir jetzt zum Ende dieses Jahres feststellen können, sehr gut durch das Jahr der Pandemie gekommen. Für Disziplin und Augenmaß danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, allen Forscherinnen und Forschern, allen Institutsleiterinnen und Institutsleitern. Es ist uns gemeinsam gelungen, gerade in dieser Zeit mit Innovations-Push und Anti-Corona-Programm wichtige Impulse zu setzen.

**Für einen überaus positiven Jahresabschluss** hat Dr. Sergiy Yulin mit seinem Team vom Fraunhofer IOF und seinem Beitrag zur Entwicklung der EUV-Lithographie gesorgt. Zusammen mit Forscherkollegen von ZEISS und TRUMPF hat er am 25. November den Deutschen Zukunftspreis gewonnen (s. Seite 62). Diese einzige Auszeichnung des Bundespräsidenten hat das Fraunhofer IOF bereits zum dritten Mal erhalten, Fraunhofer insgesamt bereits neun Mal. Es ist für die Fraunhofer-Gesellschaft nicht das einzige Positive an 2020, einem »Jahr, in dem wir so viel wie nie über Wissenschaft geredet haben«, wie Frank-Walter Steinmeier sehr richtig formulierte.

So unerwartet sich dieses Jahr entwickelt hat, so entschieden ist die Fraunhofer-Gesellschaft bei ihren Zielen geblieben. Der erste Quantencomputer, den Fraunhofer zusammen mit IBM nach Deutschland holen wollte, steht unmittelbar davor, den Betrieb aufzunehmen. Im November ist er per Schiff in Deutschland eingetroffen, von Januar 2021 an wird er im baden-württembergischen Ehningen bereitstehen – für das Fraunhofer-Kompetenznetzwerk Quantencomputing, aber

im Dienst der gesamten deutschen Wirtschaft. Die ersten Projekte stehen vor dem Start. Mit dem, was das Computing der Zukunft leisten kann und wird, beschäftigt sich dieses Fraunhofer-Magazin. Sicher ist heute schon: Die Verbindung von Quanten und Künstlicher Intelligenz wird nicht weniger sein als eine zukünftige Schlüsseltechnologie, um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in den internationalen Hightech-Märkten abzusichern.

**Quantencomputing wird eine der starken Säulen sein**, auf denen sich die Zukunft aufbaut – neben Trusted Computing, das digitale Sicherheit schaffen wird, und Neuronomorphem Computing, das sich das Wunderwerk unseres menschlichen Gehirns zum Vorbild nimmt.

Wenn wir in dieses neue Jahr 2021 wieder mit mehr Optimismus starten, hat das auch sehr viel zu tun mit Wissenschaft. Die Rekordzeit, in der Impfstoffe gegen das Coronavirus entwickelt und zur Zulassungsreife gebracht wurden, beweist eindrucksvoll, was Forschung zu leisten vermag. Die Herausforderungen werden nicht weniger. Aber eines hat uns das vergangene Jahr gelehrt: Wir haben die Kraft, uns ihnen zu stellen.

Ihr

Reimund Neugebauer  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

# Inhalt

**62** Diesem Trio ging ein –  
**ultraviolettes – Licht auf**  
Meilenstein in der Mikrochip-Produktion: Deutscher Zukunftspreis für EUV-Lithographie – und für Fraunhofer.



**10** »Computer der Zukunft sind hybrid«  
Fraunhofer hat im November den ersten Quantencomputer nach Deutschland geholt. Jetzt nimmt er den Betrieb auf. Neuromorphes Computing, Trusted Computing und Quantencomputing sind die drei Säulen, auf denen sich eine Zukunft aufbaut.



**03** Editorial

**06** Kurz gemeldet, Impressum

**10** Titel: »Computer der Zukunft sind hybrid«  
Zeit für eine neue Generation – sie ist leistungsfähig, vertrauenswürdig und ressourceneffizient

**21** Edge AI hilft, Energie zu sparen  
Künstliche Intelligenz erreicht die Endgeräte

**26** Stimme aus der Wirtschaft  
Dr. Robert Bauer, Vorsitzender des Vorstands der SICK AG: »Quanten kommen im Markt an«

**28** Autonom und sicher  
Der Traum vom perfekt entspannten Reisen ist alt – doch jetzt beginnt er, Wirklichkeit zu werden

**30** Trotz Coronaschutz verstanden werden  
Welche Maske stört wie sehr beim Sprechen?

**32** Fraunhofer weltweit

**34** Was der Atem verrät  
Krebs, Diabetes, Nierenkrankheiten – viele Krankheiten lassen sich per Atemanalyse erkennen

**36** Gründer-Serie: »Ohne Fraunhofer? Gäbe es unseren Spin-out nicht!«  
Schuhe online kaufen? Dank mySHOEFITTER soll sogar der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck passen

**38** Ausgezeichnet verpackt  
Dr. Amberg-Schwab forscht für die perfekte Verpackung – und räumt Preis um Preis ab

**41** Smarte Geräte – komplexe Ökobilanz  
Wo stecken die Probleme in Design und Technik?

**42** Atmen dank Mondstaub  
Sauerstoff im All: Der ROXY-Reaktor kann Langzeit-Aufenthalte möglich machen

**44 Neue Karriere als Medikament**  
mRNA hilft im Kampf gegen Corona – und kann noch viel mehr.

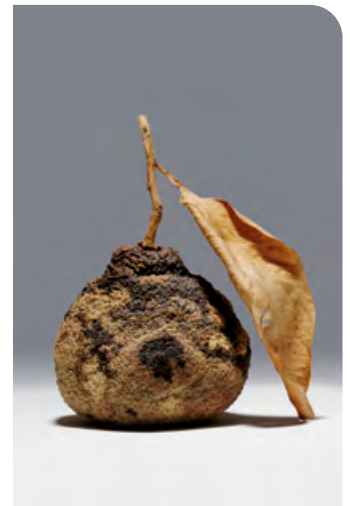


**36 Neue Serie über Gründer und Ausgründungen: »Ohne Fraunhofer? Gäbe es unseren Spin-out nicht!«**  
Was mySHOEFITTER macht, damit der Schuh niemanden mehr drückt.

**64 Logistik in Rekordgeschwindigkeit**  
Von der Intelligenz eines Vogelschwarms lernt der LoadRunner für die Lieferung von Paketen.



**56 Zu wertvoll für den Kompost**  
Tausende Tonnen Lebensmittel verrotten – dabei bergen sie wertvolle Rohstoffe.



- 44 Neue Karriere als Medikament**  
mRNA ist nicht nur das Zauberwort im Kampf gegen Corona – sie kann künftig auch Krebs bekämpfen
- 47 mRNA – eine neue Klasse von Impfstoffen**  
Wie die messenger RNA im Körper arbeitet
- 48 Die Geschichte des Impfens**  
Der Mensch wird zum Tier, fürchteten Impfgegner schon früh. Auch viele Nazis lehnten die Nadel ab
- 50 Fit für die Massenproduktion**  
Wie Fraunhofer-Forschende zur Impfung gegen Corona beitragen
- 53 »Wir haben viele Pferde im Rennen«**  
Impfstoff-Fachmann Dr. Ulbert im Interview
- 54 Papierberge schnell abarbeiten**  
Helfer in Krankenhaus, Justiz und Wirtschaft: Deep-Learning-Algorithmen

- 56 Rohstoffquelle Abfall**  
Deutscher Nachhaltigkeitspreis: Rohstoffe aus Lebensmittelabfällen
- 58 Lässt sich die Jugend verlängern?**  
Was 130 Gene über das biologische Alter des Menschen verraten können
- 60 Zwei Wege zur sicheren Heilung**  
Deutschland hält den Weltrekord bei Hüft-OPs. Fraunhofer hilft, Komplikationen zu vermeiden
- 62 Deutscher Zukunftspreis für Fraunhofer**  
Auf in eine neue Dimension: EUV-Lithographie hat die Smartphones erreicht – und sie kann noch viel, viel mehr!
- 64 Logistik in Rekordgeschwindigkeit**  
Nie wurden so viele Pakete verschickt wie Weihnachten 2020 – ein Blick in die Zukunft

**Corona** hält Menschen von den Einkaufsstraßen fern, im Weihnachtsgeschäft explodiert der Online-Handel. Mit **1,6 Milliarden Paketen** hatte die Deutsche Post DHL fünf Wochen vor Weihnachten schon mehr zugestellt als im ganzen Jahr 2019: **100 Prozent im November**, 100 Prozent vor der gewohnten Hochsaison. Kunden und Unternehmen spüren es: Die Herausforderungen an die Logistik von morgen wachsen. Für seinen Lösungsansatz LoadRunner (s. S. 64) verbindet Fraunhofer KI mit Schwarmintelligenz.

100%

## Unbesorgt genießen

Mandeln sind für Lebkuchen und Spekulatius unverzichtbar, aber oft mit gefährlichen Salmonellen behaftet. Ein neues Verfahren des Fraunhofer UMSICHT lässt den Keimen keine Chance.

Laut Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BLV) gehörten Nüsse, Nussprodukte und Samen zu den Nahrungsmitteln, die 2019 am häufigsten aus dem Handel zurückgerufen werden mussten.

»Die Salmonellen begeben sich auf den Mandeln in einen Schlafzustand. Kommen sie mit Wasser in Kontakt, vermehren sie sich explosionsartig. Es sind nur zehn bis hundert der Bakterien erforderlich, um eine Lebensmittelinfektion auszulösen. Gelangen belastete Mandeln nach der Ernte in die Produktionsanlagen, können sie auch andere Chargen kontaminieren«, erklärt Karen Fuchs, Wissenschaftlerin am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen. Im Kooperationsprojekt MiDeCO<sub>2</sub> haben die Wissenschaftlerin und ihr Team gemeinsam mit Forschenden der Universität Alberta (Kanada) untersucht, welche Technologien sich für die Dekontamination von Mandeln eignen. »Es ist bekannt, dass Kohlendioxid unter Druck in Flüssigkeiten, wie beispielsweise Orangensaft,



Weihnachtszeit ist Genusszeit. Doch manchmal bergen Mandeln Risiken.  
© iStockphoto

pathogene Bakterien abtöten kann. Unsere Forschung hat ergeben, dass dies unter gewissen Voraussetzungen auch bei trockenen Lebensmitteln möglich ist«, sagt Fuchs. Das Kohlendioxid ist weder umwelt- noch gesundheitsschädlich und lässt sich zudem rückstandsfrei von den Mandeln abtrennen. Energieintensive Aufreinigungsschritte entfallen.

Die Mandeln werden im Hochdruckautoklaven mithilfe von verdichtetem Kohlendioxid in Kombination mit antimikrobiellen Ölen dekontaminiert. Durch den Einsatz der Öle wird ein erneuter Befall mit Keimen erschwert. Das Öl-Extrakt imprägniert dabei die Mandel. Die Vorteile des Verfahrens: Die Mandeln behalten ihre geschmacklichen Eigenschaften bei, weder die Lagerstabilität noch die Fettzusammensetzung werden beeinflusst.

## Heizungen passgenau aufdrucken

Fraunhofer-Forschende haben für Satelliten und Raumschiffe dünne, besonders zuverlässige Keramik-Silber-Heizungen entwickelt, die sich nahtlos auf Bauteile aufbringen lassen.

Auch irdische Anwendungen sind vorstellbar: beispielsweise, wenn Kondenswasser mittels Wärme von Kameralinsen autonom fahrender Fahrzeuge ferngehalten werden soll. Für die Chemie-, Halbleiter- oder Lebensmittelindustrie, deren Rezepten oft nur bei exakt eingestellten Temperaturen funktionieren, sind Rohrsysteme mit passgenau aufgedruckten Heizungen ebenfalls interessant.

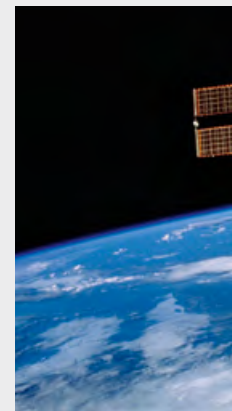
Bisher nutzt man für kompliziert geformte Bauteile Heizfolien aus Polymeren, die von Hand aufgeklebt werden. »Das ist nicht nur aufwendig, sondern auch fehleranfällig«, erklärt Lukas Stepien, Gruppenleiter Drucken am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. »Im Klebprozess können unerkannt kleine Gasbläschen eingeschlossen werden. Die Bläschen dehnen sich im Vakuum des Weltraums aus. Das senkt letztlich die Heizleistung.« Im All können minimale Probleme wie eine vereiste Batterie dramatische

Folgen haben. Die neuen Heizungen des Fraunhofer IWS sind wesentlich ausfallsicherer.

Die Bauteile werden zunächst mit einer dünnen Keramikschicht überzogen, anschließend mit einer Dispersionsdruckmaschine die Heizelemente aufgebracht. Sie ähneln äußerlich den Windungen eines Flusses. Durchfließt später ein Strom den metallischen Mäandern, setzt er Wärme frei.

**Um dieses heizende Muster zu erzeugen**, füllen die Spezialisten eine Kartusche mit einer besonderen Paste, die kleine Silberteilchen enthält. Druckluft presst das zähflüssige Material dann durch die Kartusche hin zu einer feinen Kanüle. Diese Hohlnadel drückt schließlich das etwa zehn Mikrometer dünne Heizmuster auf die keramiksolierten Rohre, die sich dabei auf einer Welle drehen.

Die Fraunhofer-Ingenieure rechnen damit, dass ihre gedruckten Heizungen preiswerter und flexibler herzustellen sind als die herkömmlichen Heizfolien zum Aufkleben. Besonders bei hohen Betriebstemperaturen sollen sie auch länger halten und zuverlässiger funktionieren.





Jeder zweite Jugendliche in Deutschland trägt eine Zahnspange – oft viele Jahre lang.  
© F1 online/Stocksy



## Gesunde Zähne trotz fester Spange

Zahnspangenträger haben ein erhöhtes Kariesrisiko. Drähte und Befestigungen machen das Putzen schwer. Einer Kombination aus einem speziellen Peptid und Fluorid hilft, den Zahnschmelz zu schützen.

Das zeigt eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS und der Philipps-Universität Marburg. Die Forschungsergebnisse wurden mit dem Oral-B-Preis für Kinderzahnheilkunde und Prävention 2020 ausgezeichnet.

Insbesondere am Rand der Flächen, an denen die Apparatur auf dem Zahn angebracht ist, kann es zur Demineralisation des Zahnschmelzes kommen. Aus solchen Schädigungen, die bei festen Zahnspangen in fast der Hälfte aller Fälle auftreten, kann Karies entstehen. Denn im

defekten Zahnschmelz können sich Bakterien ansiedeln, vermehren und weiter ins Zahninnere vordringen.

**Sind die Schädigungen** noch in einem frühen Stadium (initiale Läsion), kann eine neuartige Behandlungsmethode den Prozess stoppen und sogar dazu beitragen, dass der Zahn sich selbst repariert: Das Peptid P11-4 wird als Flüssigkeit auf den Zahn aufgebracht, füllt die Läsion und sorgt dafür, dass sich Kalziumionen und andere Mineralien in der Zahnstruktur einlagern. »Durch den Einsatz von P11-4 in Kombination mit einem Fluoridlack konnten wir eine signifikant verbesserte Remineralisation des Zahnschmelzes im Vergleich zur alleinigen Anwendung von Fluoriden zeigen«, fasst Prof. Dr. Anahita Jablonski-Momeni von der Philipps-Universität Marburg die Ergebnisse der Studie zusammen.



Auf der Raumstation ISS hängt das Leben der Astronauten davon ab, ob die Technik an Bord funktioniert.  
© NASA Images

# Peptid P11-4



Nach EU-Recht sind Tierversuche nur noch eingeschränkt erlaubt. So dürfen beispielsweise neue Substanzen, die in Kosmetika verwendet werden sollen, nicht mehr am Tier getestet werden. © AdobeStock

## Neues Testverfahren will Tierversuche ersetzen

Wie stark reizt eine chemische Substanz die Augen? Das wird bisher per Draize-Test an Kaninchen ermittelt. Fraunhofer-Forschende arbeiten an einer Alternative.

Seit 1944 wird das Gefahrenpotenzial von neuen Chemikalien per Draize-Augenreizungstest bewertet und klassifiziert. Bei diesem weltweit eingesetzten Standardverfahren werden die Substanzen lebenden Kaninchen ins Auge getropft. Um die quälende Prozedur zu ersetzen, haben Wissenschaftler Gewebemodelle der menschlichen Augenhornhaut im Reagenzglas kultiviert und als Testsystem verwendet. Diese erlauben jedoch bisher nicht die Unterscheidung zwischen irreversiblen und reversiblen Schädigungen, daher gelang nur eine Reduzierung, kein Ersatz der Tierversuche.

**Um ein leistungsfähigeres Testsystem** zu entwickeln, setzen Forschende am Translationszentrum für Regenerative Therapien des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC gemeinsam mit Partnern ihre langjährige Erfahrung im Bereich der humanen Gewebemodelle ein. Ziel des Projektes ImAi ist nicht nur, den Draize-Test vollständig zu ersetzen, sondern auch, zu zuverlässigeren Ergebnissen zu gelangen. ImAi wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms »Alternativen zum Tierversuch« gefördert.

## Illegale Kulturgüter per App erkennen

Ob eine antike Skulptur oder Vase illegal erworben wurde oder aus einer Raubgrabung stammt, ist für Zoll und Polizei schwer zu erkennen. Eine App des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT soll helfen.

**223 000 Kulturgüter** wurden 2018 weltweit von Strafverfolgungsbehörden sichergestellt, darunter antike Münzen, Keramiken, historische Waffen und Fossilien. Sie stammten meist aus illegalen Raubgrabungen und sollten am Zoll vorbei außer Landes gebracht werden. Um solche Kulturschätze ausfindig zu machen, suchen Zollbeamte gezielt an Flughäfen oder durchforsten Online-Auktionen.



Im Projekt KIKu arbeiten Expertinnen und Experten des Fraunhofer SIT gemeinsam mit der Firma cosee an einer App, die es ermöglicht, Kulturgüter schnell mittels künstlicher Intelligenz zu überprüfen. Die Ermittlungsbeamten müssen dafür per Smartphone lediglich einige Fotos des Objektes aus unterschiedlichen Perspektiven aufnehmen. Diese werden per KIKu-App zu einem Server geschickt, auf dem ein Deep-Learning-Netz die Bilder mit bereits bekannten Kulturschätzen vergleicht. Wenn das Objekt als gestohlen erkannt wird, erhält der Ermittler eine Warnung. Über die Ähnlichkeitserkennung können auch noch nicht bekannte, aus Raubgrabungen stammende Kulturgüter beurteilt werden. Wenn die KI ähnliche Objekte findet, wählt sie entsprechende Datensätze aus und versendet die Information an die Beamten. So erhalten Zoll und Polizei per App innerhalb von Sekunden eine erste Einschätzung, aus welcher Region und Epoche das Objekt stammen könnte, und einen Anhaltspunkt, ob die Herkunft weiter überprüft werden muss.

Der Degen mit Diamantgriff gehört zu den wertvollen Objekten, die vor rund einem Jahr aus dem Grünen Gewölbe in Dresden spektakulär geraubt wurden. Mit der neuen App könnte er leicht identifiziert werden. © Grünes Gewölbe, Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Foto: Jürgen Karpinski

## 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, Mandy Bartel, Christine Broll, Dr. Katja Engel, Meike Grewe, Sirka Henning, Dr. Monika Offenberger, Olga Putsykina, Jacob Schmette, Eric Schütz (2issue), Mehmet Toprak, Britta Widmann

**Layout + Litho:** Vierthaler & Braun  
**Titelbild:** Oliver Hilterhaus für Fraunhofer  
**Druck:** Gotteswinter und Aumaier GmbH

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2020





# Vor Weichmachern zuverlässig schützen

Nicht nur Plastikspielzeug oder Verpackungen enthalten gesundheitsschädliche Weichmacher, sondern auch Blutbeutel und Infusionsschläuche. Ein neues Verfahren des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST verhindert, dass die gefährlichen Substanzen im Körper landen.

Barriere-  
wirkung

95%



Um Kunststoffe elastisch zu machen, werden Weichmacher beige-mischt. Sie sind nicht fest mit dem Polymer verbunden und können sich daher leicht wieder freisetzen. Für Blutbeutel und medizinische Schläuche wird oft der PVC-Zusatzstoff DEHP (Diethylhexylphthalat) verwendet. Die EU hat DEHP, das zur Substanzklasse der Phthalate gehört, als toxisch eingestuft. In Kosmetika oder Spielzeug ist er aufgrund seiner fortpflanzungsschädigenden Eigenschaften verboten.

Dr. Thomas Neubert und seine Kollegen am Fraunhofer IST in Braunschweig nutzen Atmosphärendruckplasmaverfahren, um die molekulare Struktur von DEHP an der Kunststoffoberfläche zu verändern und die Moleküle so miteinander

zu vernetzen, dass die schädliche Substanz das vernetzte Gitter nicht passieren kann. Das PVC selber wird nicht verändert, die mechanischen Eigenschaften bleiben erhalten.


**In Tests konnten die Forscher** nachweisen, dass sich die Migration der Weichmacher aus dem Weich-PVC um 95 Prozent reduzieren lässt. Um die Langzeitstabilität der Barrieren zu prüfen, wurden die behandelten Weich-PVC-Folien vier Monate lang an Luft gelagert. Das Ergebnis: Das erzeugte Molekül-Netz löste sich nicht auf, die Barriere Wirkung von 95 Prozent blieb erhalten. Für die Tests wurden PVC-Folien verwendet, aus denen Blutbeutel hergestellt werden. Die Ergebnisse lassen sich auch auf andere phthalathaltige Weichmacher übertragen.

In Spielzeug verboten,  
für Blutbeutel erlaubt:  
der PVC-Zusatzstoff DEHP.  
© iStockphoto



## NEXT GENERATION COMPUTING

Problem rein,  
Lösung raus:



»Computer der  
**Zukunft**  
sind hybrid«

Die Digitalisierung bringt eine Datenflut mit sich, die wir mit heutigen Rechnersystemen schon bald nicht mehr effizient bewältigen können. Es ist Zeit für eine neue hybride Computing-Generation, die leistungsfähig, vertrauenswürdig und ressourceneffizient ist.





**Computer mit Superkräften?** Auf Quantencomputern ruhen viele Hoffnungen, künftig etwa Simulations- und Optimierungsprobleme besser lösen zu können. Ihre Vorteile werden sie im Rechenzentrum der Zukunft in Kombination mit anderen Technologien ausspielen.





**NEXT**

**Von Grund auf Neues schaffen:** Größere Moleküle lassen sich heute noch nicht gut simulieren. Quantenbasierte Rechenstrategien könnten dies ändern und so neue Möglichkeiten bei der Entwicklung von Medikamenten, Chemikalien und Materialien schaffen.



**Computers for Future:**  
In künftigen hybriden Rechnerarchitekturen könnten Quantenprozessoren komplexe, physikalische Gleichungen schneller lösen und so Klimamodelle und Wetterprognosen optimieren. Bessere Planungen werden durch genauere Modellierungen auch in der Energiewirtschaft möglich.

#### »Ein Quadratmeter für eine neue Welt«

Für manchen hat Corona die Welt klein gemacht. Den Fotografen der Titelstrecke dieses Fraunhofer-Magazins behindert das bei seiner Arbeit nicht. »Ich laufe manchmal nur ein paar Schritte durch meine Wohnung oder mein Atelier«, berichtet er. »Ich brauche nur einen Quadratmeter, daraus mache ich eine neue Welt.«



Oliver Hilterhaus, Jahrgang 1963, geboren in Mülheim an der Ruhr, wo er eine kleine Galerie betreibt, hat vor zehn Jahren seine Leidenschaft als Fotograf für Miniwelten entdeckt. Für dieses Fraunhofer-Magazin hat er aus Heftklammern eine Skyline wachsen lassen, hat Schrauben und Muttern zu medizinischem Hightech verarbeitet und Puzzleteile zur Arktis gemacht. Die Ein-

samkeit des Babybären auf der Eisscholle ist sein persönliches Lieblingsmotiv. 2000 Figuren, »Figürchen«, wie er sie liebevoll nennt, hat er inzwischen gesammelt. Und durch seinen ständigen Perspektivwechsel einen neuen Blick auf die Welt gewonnen – also: auf die große Welt. Vieles Große, findet er, wirke heute doch sehr irrational auf ihn. [www.oliverhilterhaus.de](http://www.oliverhilterhaus.de)





NEXT

**Künstliche Synapsen und Neuronen:** Tief ins menschliche Gehirn geschaut haben Forschende für die Entwicklung neuromorpher Chips. Deren Schaltkreise sind neuronalen Netzen nachempfunden und deshalb besonders energieeffizient und schnell.

Für das Jahr 2025 prognostizieren die Statistiker eine Verfünffachung auf 175 Zettabytes. Das sind 175.000.000.000.000.000.000 Bytes.

»Die Antwort auf diese Herausforderungen ist die Entwicklung vertrauenswürdiger, hochperformanter und ressourceneffizienter Hard- und Software.«

Prof. Albert Heuberger, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS

**D**as Jahr 2020 hat nicht nur eine Zäsur in Sachen Gesundheit gebracht. Auch beim Datenverbrauch hat es neue Rekorde geliefert. Marktanalysten des Branchenverbandes der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten VATM schätzten im Oktober, dass in diesem Jahr 5,2 Milliarden Gigabyte allein über die deutschen Mobilfunknetze übertragen werden – eine Steigerung zum Vorjahr um 52,9 Prozent. Noch vor fünf Jahren belief sich der mobile Datenverkehr auf gerade einmal 600 Millionen Gigabyte. Durch die Festnetzleitungen rauschen im Jahr 2020 in Deutschland schätzungsweise 72 Milliarden Gigabyte – ein Plus von 28,6 Prozent.

Weltweit betrug nach Angaben des Statistischen Bundesamtes noch im Jahr 2018 das Volumen der jährlich generierten digitalen Datenmenge 33 Zettabyte. Für das Jahr 2025 prognostizieren die Statistiker mehr als eine Verfünffachung auf 175 Zettabytes. Das sind 175.000.000.000.000.000.000 Bytes. Zum Vergleich: Das Gesamtwerk Shakespeares umfasst, so hat es das Fachmagazin Computer Weekly einmal ausgerechnet, 5 MB, also 5 000 000 Bytes. Als nächste und letzte Einheit ist bisher nur das Yottabyte vorgesehen. Und darauf bewegt sich unsere digitale Gesellschaft kontinuierlich zu.

**Vor allem Sensordaten** aus dem Internet der Dinge werden – neben Videostreaming – künftig das Datenwachstum weiter vorantreiben. Künstliche Intelligenz, Industrie 4.0, autonomes Fahren – all diese digitalen Entwicklungen benötigen immer mehr Daten und damit mehr Rechenpower und Energie. Dabei wurden 2020 80 Prozent der generierten Daten noch in zentralen Systemen und 20 Prozent lokal verarbeitet, bis 2025 sollen sich diese Anteile umkehren. In dem Maße, wie der Datenberg wächst, bewegen wir uns auf die Grenzen heute existierender Computertechnologien zu. Den neuen Anforderungen an Energieverbrauch, Datenverarbeitung und Transferzeiten werden sie kaum mehr gerecht.

Die Flut an Daten ist nicht die einzige Herausforderung. Mit wachsender Abhängigkeit von digitalen Netzen und Daten steigen die Anforderungen an die Sicherheit und Resilienz der digitalen Gesellschaft. Dabei kommt vor allem der

technologischen Souveränität, also der Selbstbestimmung und Kontrolle über Systeme und Daten, in Deutschland und der EU eine zentrale Rolle zu. Bislang führte die Marktmacht vor allem US-amerikanischer IT-Konzerne wie Microsoft und Google zu nahezu vollständigen Abhängigkeiten.

»Die Antwort auf diese Herausforderungen ist die Entwicklung vertrauenswürdiger, hochperformanter und ressourceneffizienter Hard- und Software«, sagt Prof. Albert Heuberger, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. Zusammen mit seiner Kollegin Prof. Anita Schöbel vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern verantwortet er das Thema Next Generation Computing, das die Fraunhofer-Gesellschaft als eines von sieben strategischen Forschungsfeldern definiert hat. Dabei werde es im Rechenzentrum der Zukunft mehrere Wege geben, um Probleme zu lösen, so Heuberger: »Die Zukunft liegt in hybriden, sicheren Computertechnologien, die je nach Fragestellung einzeln oder komplementär zum Einsatz kommen. Wir erforschen, welches Verfahren das beste für welche Problemstellung ist – und passen die Architektur an die jeweilige Anwendung an.« Eine zentrale Rolle beim Next Generation Computing spielen drei Schlüsseltechnologien: neuromorphe Hardware, Trusted Computing und Quantencomputing.

## Zukunftssäule eins: Neuromorphes Computing

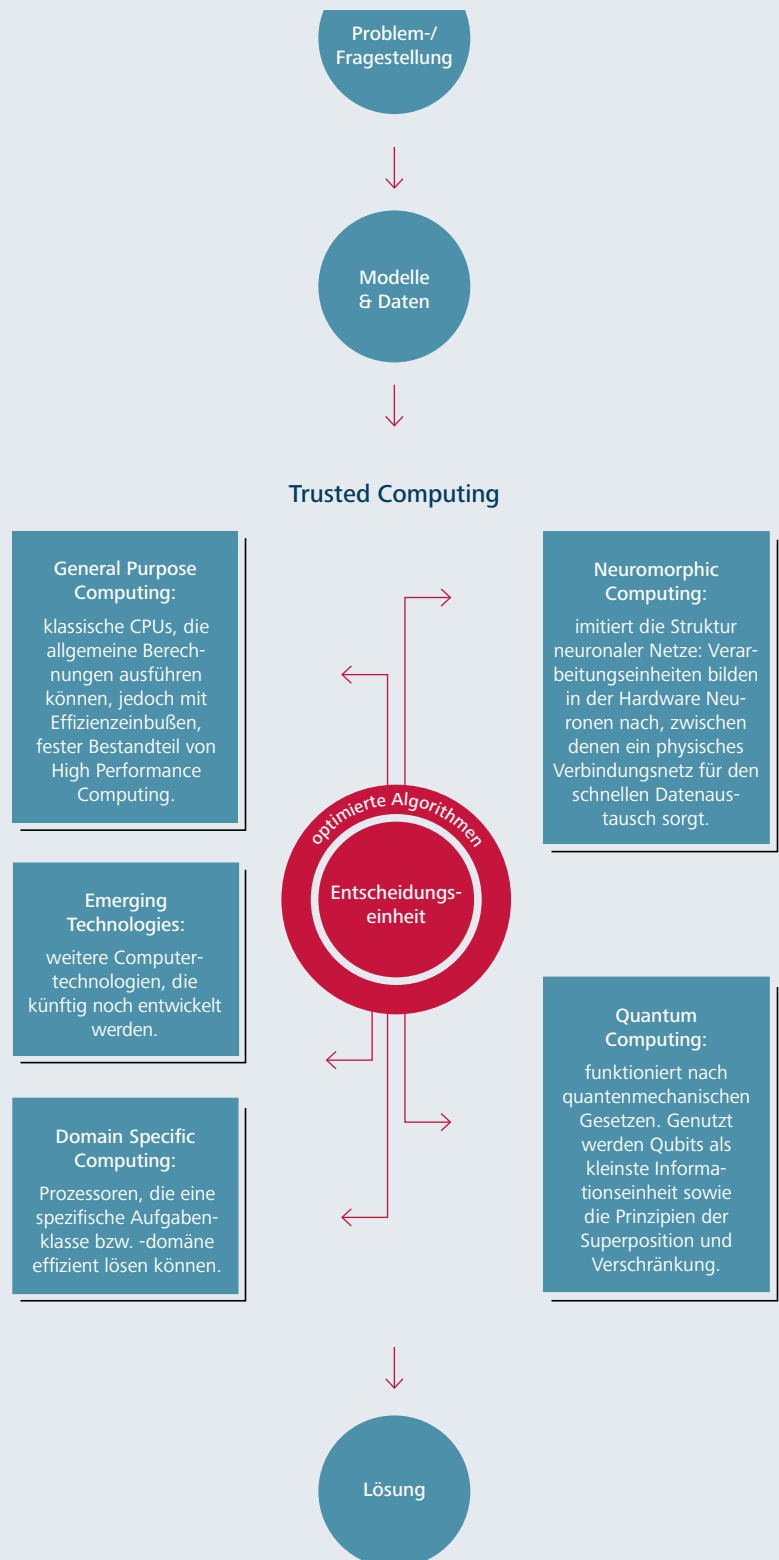
Unser Gehirn ist ein Wunderwerk. Es kann riesige Informationsmengen verarbeiten und speichern. Dabei verbraucht es nicht mehr Energie als eine 20-Watt-Glühbirne. Die neuronalen Netze, zu denen sich Millionen Nervenzellen mithilfe von Synapsen verbinden, passen sich flexibel an immer neue Lernprozesse und Erfahrungen an. Durch diese Plastizität ist das menschliche Gehirn nicht nur ein Musterbeispiel für Effizienz. Es ist heutigen KI-Systemen überlegen, die in der Regel sehr spezialisiert sind und weniger effizient.

# Hybride Computing-Lösungen der Zukunft

Dieses Erfolgsmodell, die spezielle Struktur des Gehirns, haben sich Forschende zum Vorbild genommen, um sie in Schaltkreisen neuromorpher Chips abzubilden. »Neuromorphe Hardware ist ein neuer Designansatz«, erklärt Dr. Loreto Mateu, die am Fraunhofer IIS die neuromorphen Aktivitäten über mehrere Projekte hinweg koordiniert. Dabei werden neuronale Netze als Algorithmen für integrierte Schaltungen genutzt, um neurobiologische Architekturen zu imitieren. Das Besondere: »Die Berechnung der Daten erfolgt parallel in verteilten Speichern und nicht wie in herkömmlichen CPUs, also Central Processing Units, zentral. Damit entfällt der Datentransfer zwischen Speicher und CPU, was neuromorphe Chips wesentlich schneller und effizienter macht als bisherige Prozessoren.«

**In Erlangen, München und Dresden**, aber auch anderen Standorten, entwickeln Forschende am Fraunhofer IIS, der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT und am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS neue neuromorphe Systeme für Halbleiterchips, die neuromorphes Computing direkt auf mobilen, batteriebetriebenen Geräten ermöglichen sollen. »Damit entfällt der bisherige aufwändige Datentransfer zwischen dem Prozessor und dem Speicher, was wiederum den Stromverbrauch für komplexe Rechen- und Übertragungsvorgänge sowie die Latenzzeiten minimiert«, erklärt Dr. Mateu. Das macht die Technologie vor allem für KI-Anwendungen interessant: Diese brauchen heute noch sehr viel Energie, denn beim maschinellen Lernen werden Aufgaben in einer aufwändigen Matrizenmultiplikation parallelisiert, gleichzeitig sind schnelle Reaktionszeiten gefragt. ▶

Problem rein, Lösung raus, aber immer sicher: Welche Technologie im Next Generation Computing zum Einsatz kommt, hängt von der Fragestellung ab.  
© Infografik: 2issue



»Hinsichtlich des Stromsparerpotenzials sind wir 100 bis 1000 Mal effizienter als etablierte KI-Hardware.«

Dr. Thomas Kempfe,  
Fraunhofer IPMS

► »Wenn die Informationen direkt im System, etwa in einer neuronalen Prozesseinheit im Smartphone, gespeichert und verarbeitet werden, erhöht das die Energieeffizienz solcher Anwendungen«, so die Wissenschaftlerin. Ihr Kollege Dr. Thomas Kämpfe am Fraunhofer IPMS, der ebenfalls an der Technologie arbeitet, ergänzt: »Wir können nach Schaltungssimulationen einzelne Rechenoperationen bei einer Latenz von einer Nanosekunde ausführen. Hinsichtlich des Stromsparerpotenzials sind wir damit 100 bis 1000 Mal effizienter als etablierte KI-Hardware und noch mehr im Vergleich zu konventioneller Hardware. Durch die geringe Latenz der einzelnen Operationen können auch sehr tiefe neuronale Netze in Echtzeit berechnet werden.«

**Damit hat die Technologie** das Zeug dazu, eine der drängendsten Herausforderungen der Digitalisierung zu lösen: den enormen Stromverbrauch von Rechenzentren. Schon 2014 produzierte die IT-Branche weltweit so viel CO<sub>2</sub> wie der gesamte Flugverkehr, konstatierte das Umweltbundesamt. Eine kürzlich von der EU-Kommission vorgestellte Studie zeigt, dass der Energieverbrauch von Rechenzentren in den EU-Mitgliedstaaten von 2,7 Prozent des Strombedarfs im Jahr 2018 auf 3,2 Prozent bis 2030 ansteigen wird. »Neben der lokalen Datenverarbeitung achten wir schon beim Entwurf der Elektronik auf minimalen Energieverbrauch, zum Beispiel durch intelligenten Stand-by und einen Low-Power-Schaltungsentwurf«, erklärt Dr. Mateu und verrät: »Die ersten Chips mit neuromorphem Design sollen schon 2021 in die Fertigung gehen.«

**Auch im EU-Projekt NeurONN** entwickelt die Fraunhofer EMFT mit sechs europäischen Partnern eine neurologisch inspirierte Computerarchitektur. Dort werden Informationen von gekoppelten oszillierenden Elementen verschlüsselt, die zu einem neuronalen Netzwerk verschaltet sind. »Analog zum Gehirn bilden die beiden Schlüsselkomponenten Neuron und Synapse die verteilten Rechen- und Speichereinheiten nach«, veranschaulicht Dr. Armin Klumpp, Projektleiter an der Fraunhofer-Einrichtung. »Als Neuronen dienen neue Elemente auf Basis von Vanadiumdioxid, die 250 Mal effizienter

als modernste digitale Oszillatoren sein können. Als Synapsen kommen sogenannte Memristoren – aus memory und resistor, Speicher und elektrischer Widerstand – auf Basis von neuen 2D-Nanomaterialien zum Einsatz.« Die winzigen Bauelemente sollen bei Schaltgeschwindigkeit, Lebensdauer und Energieverbrauch bis zu 330 Mal effizienter sein als aktuelle Technologien.

**Zum Einsatz sollen die neuromorphen Chips** überall dort kommen, wo Energieeffizienz und niedrige Latenzzeiten besonders wichtig sind, etwa weil Geräte batteriebetrieben werden oder keine Zeit bleibt, Daten in die Cloud zu schicken und auf Antwort zu warten. So zum Beispiel bei der Analyse von Biosignalen beim EKG oder EEG, bei sogenannten »elektronischen Nasen« für Gas- und Geruchsdetektion, bei der Verarbeitung von Signalen für Sprach- oder Anomalie-Erkennung oder für Hörgeräte. Auch bei der Verarbeitung von Sensordaten – relevant beim autonomen Fahren, in Satellitenanwendungen, bei Predictive Maintenance oder Condition Monitoring in der Industrie 4.0 – kann die Signalverarbeitung mobiler und portabler Sensorsysteme wesentlich energieeffizienter werden. Ein großer Vorteil neuromorpher Hardware ist auch, dass Informationen lokal und nicht in der Cloud gespeichert werden, was sowohl die Sicherheit der Geräte als auch den Datenschutz verbessert. Nicht zuletzt dienen neuromorphe Chips als Basis für Edge-AI-Anwendungen (siehe Seite 21).

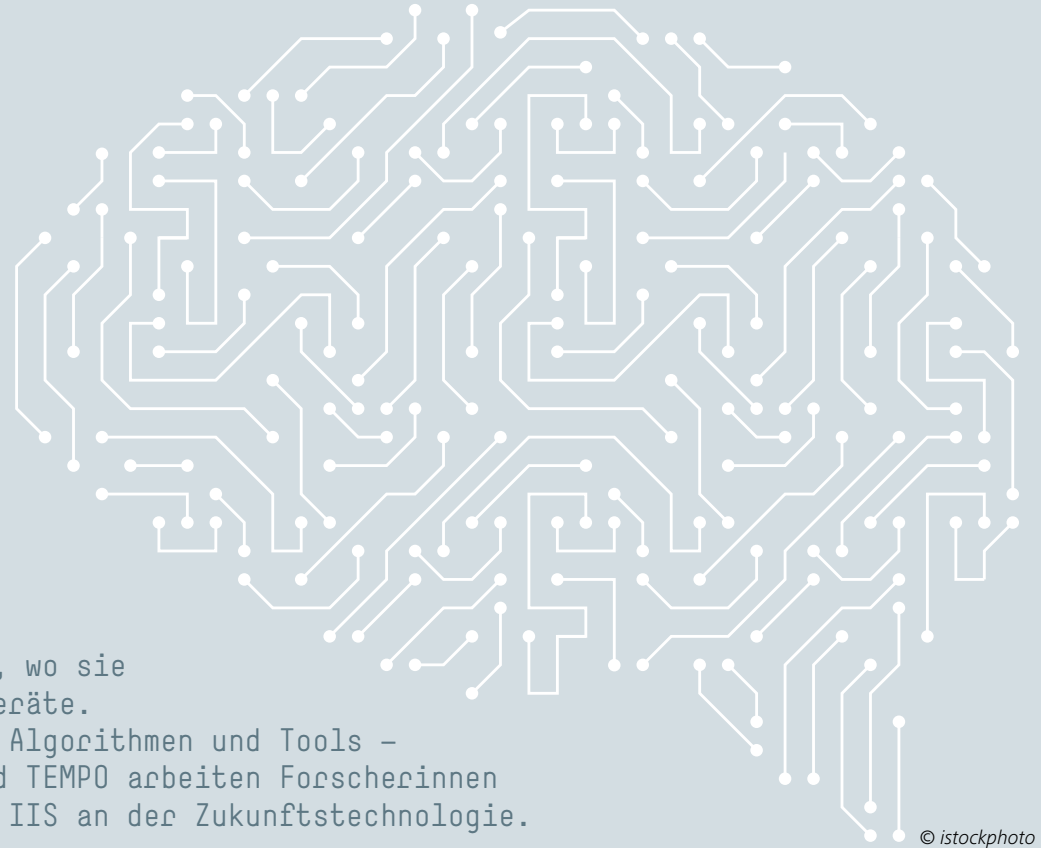
## || Zukunftssäule zwei: Trusted Computing

Trusted Computing ist der zweite Baustein von Next Generation Computing und gleichzeitig technologisch am weitesten gediehen. »Vertrauenswürdige Elektronik und Datensicherheit sind die Basis für alle digitalen, vernetzten Systeme, speziell für das Internet der Dinge, aber auch KI«, sagt Prof. Albert Heuberger vom Fraunhofer IIS. ►

»Analog zum Gehirn bilden die beiden Schlüsselkomponenten Neuron und Synapse die verteilten Rechen- und Speichereinheiten nach.«

Dr. Armin Klumpp, Projektleiter an der Fraunhofer-Einrichtung EMFT

# Schlaue Endgeräte sparen Energie



© istockphoto

Edge AI soll die künstliche Intelligenz dorthin bringen, wo sie gebraucht wird: in die Endgeräte. Benötigt werden dazu Chips, Algorithmen und Tools – in den Projekten ANDANTE und TEMPO arbeiten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IIS an der Zukunftstechnologie.

Text: Dr. Janine van Ackeren

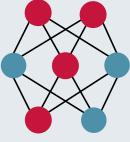
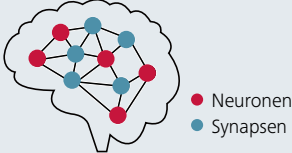
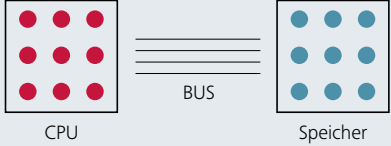
Denken ist anstrengend. Das gilt auch für Computer: Sollen sie per künstlicher Intelligenz Entscheidungen treffen, benötigen sie dazu sogar deutlich mehr Power als Menschen und Tiere. So braucht ein spezialisierter KI-Prozessor 7000-mal mehr Energie als ein Bienenhirn, um z.B. eine Blume in einem Bild zu erkennen. Problematisch ist dieser hohe Energieverbrauch vor allem dann, wenn die künstliche Intelligenz in die Endgeräte verlegt werden soll – etwa in Sensoren, die in einer Brücke verbaut erkennen sollen, ob sich die Spannung des Bauwerks ändert, oder in tragbare Geräte, die sich per Sprachsteuerung ein- und ausschalten lassen. Man spricht dabei auch von Edge AI.

**Gerade diese Art der künstlichen Intelligenz** bietet viele Vorteile: Sie funktioniert auch da, wo keine Internetverbindung möglich ist. Sie arbeitet deutlich schneller als herkömmliche AI, bei der die Daten an eine Cloud geschickt und dort analysiert werden. Und sie wahrt die Privatsphäre, Datenhoheit, Security und Safety, da die Daten nicht oder nur in absolut notwendigem Maße aus der Hand gegeben werden. Bislang hapert es jedoch vor allem am großen Energieverbrauch der Komponenten. Doch wie lässt sich der Energieverbrauch für die künstliche Intelligenz derart stark senken, dass Edge-AI-Anwendungen möglich werden? Beim Fraunhofer IIS stellen sich Dr. Marco Breiling und Dr. Loreto Mateu in ihren Teams dieser Herausforderung gleich in zwei Projekten: im Projekt TEMPO und im Projekt ANDANTE, an dem neben

zahlreichen anderen Partnern auch die Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT und das Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS beteiligt sind. »Wir entwickeln die für Edge AI nötigen energiesparenden Chips, Hardware-Aware-Algorithmen sowie die entsprechenden Tools. Bei diesen Tools haben wir bereits bei der Entwicklung von Algorithmen die Begrenzungen der Hardware im Blick und berücksichtigen sie bei der Optimierung«, sagt Dr. Marco Breiling, Chief Scientist im Forschungsbereich Kommunikationssysteme. Im Projekt TEMPO baut das Forscherteam am Anwendungsbeispiel Radar und Lidar die Grundlagen auf, in ANDANTE setzt es am Beispiel von Sprachaktivitätserkennung darauf auf.

**Der Clou** liegt bei beiden Projekten in dem Mix aus Digital-Analog-Technologien, der die Vorteile beider Ansätze vereint. »Multiplikationen und Additionen lassen sich gut analog durchführen – somit können wir für diese Anwendungen eine komplexe digitale Schaltung umgehen, die viel Energie verbrauchen würde«, verrät Dr. Loreto Mateu, Gruppenleiterin im Forschungsbereich Smart Sensing and Electronics, die für die Entwicklung der analogen Komponenten zuständig ist. Für die Steuerung dagegen sind digitale Schaltungen nötig, die aus Breilings Team stammen. Analoge und digitale Schaltungen, die genau für bestimmte KI-Anwendungen entwickelt werden, machen Edge AI erst möglich.

# Beschreibung der Technologien

|                    | Neuromorphes Computing   | Menschliches Gehirn   | Digitale Computer   |
|--------------------|--|---|---|
| <b>Algorithmen</b> | Lernende Algorithmen   | Unbekannt   | Programme/Logiken   |
| <b>Architektur</b> |  <p>Neuronale Netze</p> |  <p>Biologische neuronale Netze</p> <p>● Neuronen<br/>● Synapsen</p> |  <p>CPU</p> <p>Speicher</p> <p>Von-Neumann-Architektur</p> |
| <b>Mittel</b>      | Künstliche Neuronen und Synapsen   | Biologische Neuronen und Synapsen   | CPU (zentrale Prozessoreinheiten) Speichereinheiten   |

© Infografik: Zissue

»Vertrauenswürdige Elektronik und Datensicherheit sind die Basis für alle digitalen, vernetzten Systeme.«

Prof. Albert Heuberger, Fraunhofer IIS

► Vor allem dort, wo personenbezogene oder sicherheitskritische Daten verarbeitet werden, wie in der Medizintechnik, beim autonomen Fahren oder bei kritischen Infrastrukturen, ist es essentiell, dass die Eigentümer die vollständige Kontrolle über ihre IKT-Systeme haben und Nutzer über die Eigenschaften der von ihnen genutzten Systeme informiert werden.

Betrachtet werden muss dabei der gesamte Datenfluss – vom Endkunden bis zu der eigentlichen Hardware, die die Daten verarbeitet. Gerade bei der Hardware gab es in der Vergangenheit immer wieder Sicherheitslücken, die das Auslesen sensibler Informationen ermöglichten. Erst im Frühjahr 2020 war bekannt geworden, dass es viele Intel- und AMD-Chips erlaubten, unberechtigt auf geschützte Daten zuzugreifen. Der Fehler lag schon im Design der Prozessoren. Oft sind auch nicht dokumentierte Schnittstellen oder Implementierungsfehler die Schwachstellen. »Trusted Computing umfasst deshalb nicht nur fälschungssichere Hardware und verlässliche Software, sondern beginnt bei der sicheren Halbleiterproduktion, geht über nicht auslesbare Speicherinhalte und sichere Identitäten von Rechnern bis hin zu sicheren Embedded-Systemen«, so Prof. Heuberger.

**Einen weiteren kritischen Punkt** spricht Dr. Patrick Bressler an, Leiter der Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbands Mikroelektronik: »Viele kritische Komponenten digitaler Technologien werden heute außerhalb Europas hergestellt und in vielen Bereichen der digitalen Wertschöpfungskette besitzen

ausländische Anbieter monopolähnliche Marktpositionen. Dies erzeugt eine große Abhängigkeit, die zum Nachteil Deutschlands eingesetzt werden könnte.« Das hat auch die Politik erkannt: Im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Initiative »Vertrauenswürdige Elektronik – Made in Germany« sollen entsprechende Standards, Normen und Prozesse auf der Grundlage einer nationalen und europäischen Chipsicherheitsarchitektur entwickelt und in die Anwendung gebracht werden. Erklärtes Ziel: Die Technologiesouveränität Deutschlands soll langfristig gestärkt werden.

**Im Innovationsprogramm TRAICT** (TrustedResource-Aware ICT) arbeiten 18 Fraunhofer-Institute gemeinsam an Rahmenbedingungen, damit Informations- und Kommunikationstechnik vertrauenswürdig und datenschutzkonform ist, dazu selbstbestimmt und sicher genutzt werden kann. Die Kernfrage ist: Wie lässt sich die Verlässlichkeit kritischer elektronischer Komponenten und Systeme in global vernetzten Liefer- und Wertschöpfungsketten validieren und gewährleisten?

Als übergeordnetes System wird in TRAICT ein 5G-Mobilfunkszenario gewählt, das sich aber auch auf andere Anwendungen übertragen lässt. Hierfür untersuchen die beteiligten Forscherteams Systemarchitekturen und deren Komponenten im Hinblick auf ihre Vertrauenswürdigkeit und Energieeffizienz. Mit einem transparenten Design und offengelegten

Spezifikationen wollen sie den Anwendern ermöglichen, die Hardware besser zu prüfen. Ziel ist ein Überblick darüber, was genau wie implementiert ist und damit die Kontrolle über die Funktionalitäten zu behalten.

Eine wichtige Rolle spielt der Einsatz von Open-Source-Plattformen, die mehr Transparenz und die anwenderspezifische Modifizierung und genaue Prüfung des Designs erlauben. Ein Ökosystem mit Open-Source-RISC-V-Prozessoren soll es Firmen ermöglichen, eigene Hardware auch in kleineren Stückzahlen zu bauen. Zudem werden Analyseverfahren für Chips erforscht, um unerwünschte Funktionen wie etwa Hardware-Trojaner zu entdecken. Gleichzeitig wird im Projekt die Energieeffizienz optimiert – sowohl lokal in Bauelementen und -gruppen, etwa durch neue Halbleitermaterialien, als auch beim verteilten Rechnen im System durch Predictive Maintenance oder KI.

## III Zukunftssäule drei: Quantencomputing

Die dritte Säule zukünftiger Rechnerarchitekturen ist das Quantencomputing. Wie kaum eine andere ist diese Technologie in den letzten Jahren zum Maßstab großer Hoffnungen geworden. Viele Staaten fördern die Forschung daran mit Milliarden, große Unternehmen und Start-ups liefern sich einen Wettlauf um die Qubits. Quantenrechner sollen künftig Probleme in Sekunden lösen, für die bisherige Computer Jahre brauchen. Dass quantenbasierte Rechner viel schneller als normale rechnen, liegt daran, dass sie quantenmechanisch verschränkte Elementarteilchen wie Elektronen oder Photonen als Informationseinheit nutzen: Qubits.

Qubits kann man sich als rotierende Teilchen vorstellen, die sich erst auf eine Drehrichtung oder Polarisierung festlegen,

wenn sie gemessen werden. Solange sie nicht gemessen werden, befinden sie sich in einer sogenannten Superposition. Die einzelnen Quantenzustände können durch diesen Effekt nicht nur – wie normale Bits – die Werte 0 oder 1 annehmen, sondern gleichzeitig auch alle dazwischen. Die Teilchen lassen sich in diesem Überlagerungszustand miteinander verschränken und somit für logische Rechenoperationen nutzen. So können komplexe Aufgaben viel schneller parallel statt linear berechnet werden. Jedes zusätzliche Qubit verdoppelt dabei die Leistungsfähigkeit des Computers.

»Doch Quantencomputer eignen sich längst nicht für alle Fragestellungen«, warnt Prof. Anita Schöbel, Leiterin des Fraunhofer ITWM. »Der Erfolg hängt sehr von der richtigen Rechenoperation ab, denn die Qubits skalieren nicht immer exponentiell. Wir sind nun gerade dabei zu erforschen, welche Art von Problemen wir künftig besser mit Quantencomputern lösen können und welche besser mit anderen Architekturen.«

**Um das herauszufinden**, hat Fraunhofer zusammen mit IBM kürzlich einen Quantencomputer, den IBM Q System One, nach Deutschland geholt – den ersten seiner Art hierzulande. Die fragile Fracht kam im November per Schiff in Deutschland an, wird nun installiert und soll im Januar 2021 im baden-württembergischen Ehningen in Betrieb gehen. »Ziel ist es, erste Anwendungen direkt zu testen und damit nicht nur unsere Kompetenzen zu erweitern, sondern die der deutschen Wirtschaft insgesamt. Wir brauchen jetzt den Zugriff auf den Quantencomputer, damit wir überhaupt die nächste Generation dieser Rechner aufbauen und bedienen können«, ist Prof. Oliver Ambacher überzeugt. Er ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und einer der Sprecher des Fraunhofer-Kompetenznetzwerks Quantencomputing. Das Netzwerk wurde gegründet als zentrale Anlaufstelle für alle, die gemeinsam mit Fraunhofer-Instituten an und mit dem Quantenrechner forschen wollen. ►

## Facts

### LATENZ



Schnelle  
Verarbeitung

### SICHERHEIT



Daten-  
sicherheit und-  
schutz

### MOBILITÄT



Flexibel

### ENERGIE



Energie-  
sparend

»Wir brauchen jetzt den Zugriff auf den Quantencomputer, damit wir überhaupt die nächste Generation dieser Rechner aufbauen und bedienen können.«

Prof. Oliver Ambacher, Fraunhofer IAF

► **Die wichtigsten Fragen**, auf die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Antworten finden wollen, sind: Wie müssen Probleme beschaffen sein, um sie mit Quantencomputern effizient lösen zu können? Wie müssen die Algorithmen dafür aufgebaut sein? Und wie formuliert man Rechenmethoden auf diesen Computern, damit sie ihr Potenzial entfalten können? Ambacher vergleicht das mit den Anfängen der PCs: »Microsoft hat damals auf klassischen Computern eine Software aufgesetzt, mit der Nutzer einfach und ohne tiefe IT-Kenntnisse Briefe schreiben oder Bilder bearbeiten konnten. Analog dazu müssen wir jetzt für Quantencomputer das Gleiche leisten, um sie für eine breite Anwendung nutzbar zu machen.«

Auch die Hardware ist noch Gegenstand der Forschung. Um Quantencomputer zu beherrschen und die Qubits stabil zu halten, müssen sie auf extrem niedrige Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt von  $-273\text{ °C}$  gekühlt werden. Dieser Tieftemperaturbetrieb erschwert den Anschluss der Qubits an Vorspannungs-, Auslese- und Steuerelektroniksysteme, die für die Rechenprozesse nötig sind.

Im EU-Projekt SEQUENCE erforschen neun Konsortialpartner, darunter Ambachers Institut Fraunhofer IAF und das Unternehmen IBM, wie Tieftemperaturanwendungen in der 3D-Nanoelektronik helfen können, Schlüsseltechnologien für Quantencomputer zu verbessern. Ein weiteres herausforderndes Problem ist die Fehleranfälligkeit der Hardware: Selbst bei den fortgeschrittensten Quantenprozessoren tritt ein Fehler bei ungefähr jeder hundertsten bis tausendsten Operation auf.

**Einig sind sich die Experten**, dass Quantencomputer vor allem in drei Bereichen ihre Vorteile ausspielen können, wie eine Studie der Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz zum vielseitigen Markt- und Nutzenpotenzial von Quantencomputing jüngst zeigte:

- » Sie lösen komplexe Gleichungssysteme zuverlässiger und können dadurch dynamische Systeme besser vorhersagen. Das ist entscheidend für verlässlichere Klimamodelle und Wetterprognosen, aber auch für Betrugserkennung oder Risikoanalysen im Finanzwesen.
- » Sie finden schneller Lösungen für sogenannte kombinatorische Optimierungsprobleme. Vielversprechend ist dies für große Fortschritte im maschinellen Lernen. In der Logistik lassen sich so Routen optimieren, in der Industrie Ressourcen schonender einsetzen.
- » Sie können quantenmechanische Systeme genauer simulieren, da sie den gleichen Gesetzmäßigkeiten folgen. So lassen sich in Medizin und Chemie Strukturen auf kleinster Ebene erforschen sowie neue Materialeigenschaften vorhersagen.

Konkret wird es ab Januar 2021 in Baden-Württemberg, wenn die ersten Projekte mit dem IBM Q System One starten. Schwerpunkte sind dabei das Design neuer Materialien und quantenchemischer Reaktionen, die Optimierung von komplexen Zustandssystemen sowie die Entwicklung leistungsfähiger Quantenspeicher und skalierbarer Quantenprozessoren. Zu den untersuchten Anwendungsgebieten zählen unter

**Effizienter von A nach B und C:**  
Für die optimale Verteilung begrenzter Ressourcen in der Logistik können künftige Rechner-systeme mit Quantenpower sorgen.





anderem die Modellierung von Batterien und Brennstoffzellen, Stabilitätsanalysen kritischer Infrastrukturnetzwerke sowie Anwendungen und Algorithmen für Fertigung, Entwicklung, Logistik, Energie und Finanzwesen.

**In Rheinland-Pfalz** wollen Forschende am Fraunhofer ITWM im Verbundprojekt »EnerQuant: Energiewirtschaftliche Fundamentalmodellierung mit Quantenalgorithmen« die Vorteile von Quantencomputing für ein sehr großes Optimierungsproblem aus der Energiewirtschaft nutzen. Mithilfe des sogenannten Fundamentalmodells können Fragen beantwortet werden wie: Welche Kraftwerke werden mit welcher Kapazität zur Energieerzeugung benötigt oder welche Strompreise stellen sich an der Börse ein? Ziel ist eine hinreichend genaue stochastische Modellierung des deutschen Strommarktes. Diese wird mit dem Ausbau und der damit einhergehenden zunehmenden Einspeisung von erneuerbaren Energien immer komplexer und bedarf daher neuer Lösungsansätze.

Mit Quantencomputing ließe sich in der Zukunft dieses kombinatorische Optimierungsproblem schneller und genauer lösen, so die Hoffnung des Forschungsteams. Daher entwickeln das Fraunhofer ITWM und seine Partner dafür Algorithmen für Quantencomputer und Quantensimulatoren. Zunächst definieren sie ein einfaches Fundamentalmodell, das sich in ein quantenmechanisches Problem übersetzen und auf einem Quantensimulator darstellen lässt. Das Modell und der Quantensimulator sollen dann schrittweise weiterentwickelt werden, bis der deutsche Strommarkt genau modelliert werden kann. Als Benchmark dient ein Vergleich der Ergebnisse auf klassischen High-Performance-Computing-Systemen. Die Ergebnisse von EnerQuant werden nach Projektende für die Industrie, insbesondere die Kapital- und Energiewirtschaft, verfügbar sein.

## Problem gelöst

High Performance Computing, neuromorphe Chips, Quantenprozessoren, alles in einer vertrauenswürdigen Infrastruktur – wie werden wir nun in Zukunft Probleme lösen? Prof. Anita Schöbel ist überzeugt, dass bisherige Universalcomputer in naher Zukunft zwar nicht ausgedient haben, aber durch die neuen Technologien optimiert werden: »Das Rechenzentrum der Zukunft wird heterogen sein und unterschiedlichste Anwendungen auf die verschiedene Hardware auslagern, um effiziente Ergebnisse zu erzielen. Dabei wird es auch künftig noch klassisches High Performance Computing brauchen, um etwa Quantenprozessoren zu steuern.«

Sehr wahrscheinlich werden die neuen Technologien in Zukunft komplementär als Beschleuniger und für bestimmte Fragestellungen in bestehenden Computern eingesetzt. So wird auf neuromorphe Hardware zurückgegriffen, um energieeffizient neuronale Netze für die künstliche Intelligenz auszuführen. Für Simulations- und Optimierungsprozesse kommen dann Quantenprozessoren zum Zuge. »Doch letztlich wird es die Nutzerinnen und Nutzer am Ende weniger interessieren, wie genau ihr Problem gelöst, sondern nur, dass es so gut wie möglich gelöst wurde«, betont die Fraunhofer-Wissenschaftlerin und verspricht: »Dafür wollen wir mit unserer Forschung sorgen.« ■

»Doch letztlich wird es die Nutzerinnen und Nutzer am Ende weniger interessieren, wie genau ihr Problem gelöst, sondern nur, dass es so gut wie möglich gelöst wurde.«

Prof. Anita Schöbel, Fraunhofer ITWM

# Quanten kommen im Markt an

Die Technologie wird bisher fest verankerte technische Grenzen verschieben und in eine neue Dimension führen – auch, aber nicht nur in der Messpräzision.

Ein Gastbeitrag von Dr. Robert Bauer,  
Vorsitzender des Vorstands der SICK AG

**S**ensorik ist der Schlüssel in der Industrie von heute und morgen. Ob Logistik-, Produktions- oder Prozessautomation: Sensoren überwachen, detektieren, messen, sichern und speichern Daten. Sensorlösungen treiben die Digitalisierung und Innovationen. Die rasante Entwicklung von Software, wie Augmented Reality oder Deep Learning, schafft neue Chancen für die Industrie 4.0. Die industriellen Anwendungen stellen hohe Anforderungen an Sensorsysteme. So hat sich die Sensor-Hardware stetig weiterentwickelt und verbessert. Vor allem die enorm gestiegene Prozessorleistung eröffnet immer wieder völlig neue Lösungen.

»Quantentechnologie wird in nahezu allen Branchen und Industrien zu großen Veränderungen führen.«

Die Quantentechnologie wird in nahezu allen Branchen und Industrien zu großen Veränderungen führen – angefangen von der Automobilbranche über die Chemieindustrie bis zur Finanzbranche. Bei der Kommerzialisierung der Quantentechnologie geht es um einen Marathon, der sich über die nächsten Dekaden erstrecken wird. Akteure wie angewandte Forschung, Industrie und Politik brauchen also einen langen Atem. Gemeinsam mit der TRUMPF-Tochter Q.ANT ist SICK nun ins Rennen um industrielle Quantensensoren in Serie gegangen.

**Quanteneffekte ermöglichen ganz neue Messverfahren**, indem sie Beziehungen zwischen den einzelnen Quanten nutzen. Die Quantentechnologie verschiebt bisher

fest verankerte technische Grenzen: Wo bislang keine spezifischen Signale mehr messbar waren, lassen sich mittels Quanteneffekten aus dem Signalrauschen heraus zusätzliche Details wahrnehmbar machen. So können Quanten verschiedene Zustände gleichzeitig einnehmen (»Überlagerung«) oder sogar an mehreren Orten quasi gleichzeitig sein. Außerdem können dank der Digitalisierung statistische Auswertungen auf der Ebene einzelner Quanten erfolgen. Speziell in dieser Kombination erreicht die Präzision der Messung eine neue Dimension. Das macht Quantensensoren für die Zukunft der Industrie zu einer Schlüsseltechnologie und liefert eine Lösung für bestehende Herausforderungen.

## Quantensensorik ist eine Schlüsseltechnologie

SICK wird sich mit der Quantensensorik in einem Bereich bewegen, der zu den ganz frühen Wurzeln des Unternehmens gehört; mit dem der Erfolg des Unternehmens begann und der heute wichtiger ist denn je. In den 50er-Jahren erfand Erwin Sick ein Gerät, mit dem man die Rauchdichte in Schornsteinen messen konnte. Damit war eine wichtige Voraussetzung geschaffen, Obergrenzen für den Ausstoß schädlicher Partikel und Gase einzuführen und in der Folge dann die Umweltbelastung reduzieren zu können.



## Dr. Robert Bauer

... ist seit dem 1. Oktober 2006 Vorsitzender des Vorstands der SICK AG. Darüber hinaus ist er für das Ressort Products & Technology verantwortlich. Dr. Bauer trat 1994 als Geschäftsbereichsleiter Forschung & Entwicklung Automatisierungstechnik in das Unternehmen ein und übernahm 1998 in der Geschäftsleitung die Gesamtverantwortung für Forschung und Entwicklung. Am 1. Januar 2000 wurde er in den Vorstand berufen.

... geboren 1960 in München, studierte er von 1979 bis 1985 Elektrotechnik mit Schwerpunkt Elektrophysik/Optik an der Technischen Universität München. 1990 promovierte Robert Bauer auf dem Gebiet der integrierten Optik auf Halbleiterbasis.

Aktuell produziert SICK Sensorlösungen zur Staubmesstechnik in Dresden. Dort ist auch die Projektgruppe des Quantensensors verortet. Die Nähe ist wichtig, um bestehendes Know-how über industrielle Anwendungen zu nutzen und in die Entwicklung einfließen zu lassen. In Kombination mit digitalen Sensorlösungen werden über die Auswertung von Sensordaten zusätzliche Informationen bereitgestellt. Dadurch wird eine Klassifikation extrem kleiner Partikel mit extrem geringer Dichte zu Echtzeitbedingungen möglich.

### Einstieg in vorhandene Märkte

Mit dieser Technologie und den damit verbundenen Verbesserungen von Messungen wird SICK zunächst in Märkte einsteigen, die das Unternehmen bereits kennt. Dabei geht es primär darum, den Anwendern Daten zur Verfügung zu stellen, um die Wertschöpfung der Prozesse und den Umgang mit Ressourcen zu verbessern. Der Quantensensor wird in der Lage sein, Partikel, die ein Fünftel Mikrometer klein sind, zu messen. Dabei registriert der Sensor Daten über die Partikelgröße, die Verteilung der Partikel, die Partikelkonzentration, die Geschwindigkeit und die Richtung der Partikel. In der Halbleiterindustrie können Kontaminationen erkannt werden, die die Maschinen selbst erzeugen und die bisher nicht online erkannt werden können. Mit Quantensensoren

können diese erfasst werden und Yieldprobleme verhindert werden. Außerdem ist eine kontinuierliche Echtzeitmessung auch kleinster Partikel in der Pulverherstellung, etwa in der Zementindustrie, möglich. Die Korngröße ist für das Endprodukt ausschlaggebend. Stimmt die Körnung nicht, erreicht Beton später nicht die bestimmungsgemäße Festigkeit. Bisher nimmt man deshalb regelmäßig Proben und analysiert diese im Labor. Das kann einige Stunden dauern. Ist das Ergebnis nicht zufriedenstellend, muss das Produkt im schlimmsten Fall entsorgt werden. Mittels Quantensensor kann in Echtzeit eine Analyse durchgeführt werden. Die Verschwendung von Ressourcen wird damit verhindert werden.

**Und die Daten können jederzeit online weltweit abgerufen werden.** Neben der Halbleiterindustrie oder der Zementindustrie sind auch öffentliche Gebäude interessante Einsatzgebiete: Zum Beispiel werden Quantensensoren in der U-Bahn die Einhaltung von Feinstaubgrenzwerten überprüfen können und Belüftungssysteme optimal steuern. Darüber hinaus sind viele weitere Anwendungen denkbar.

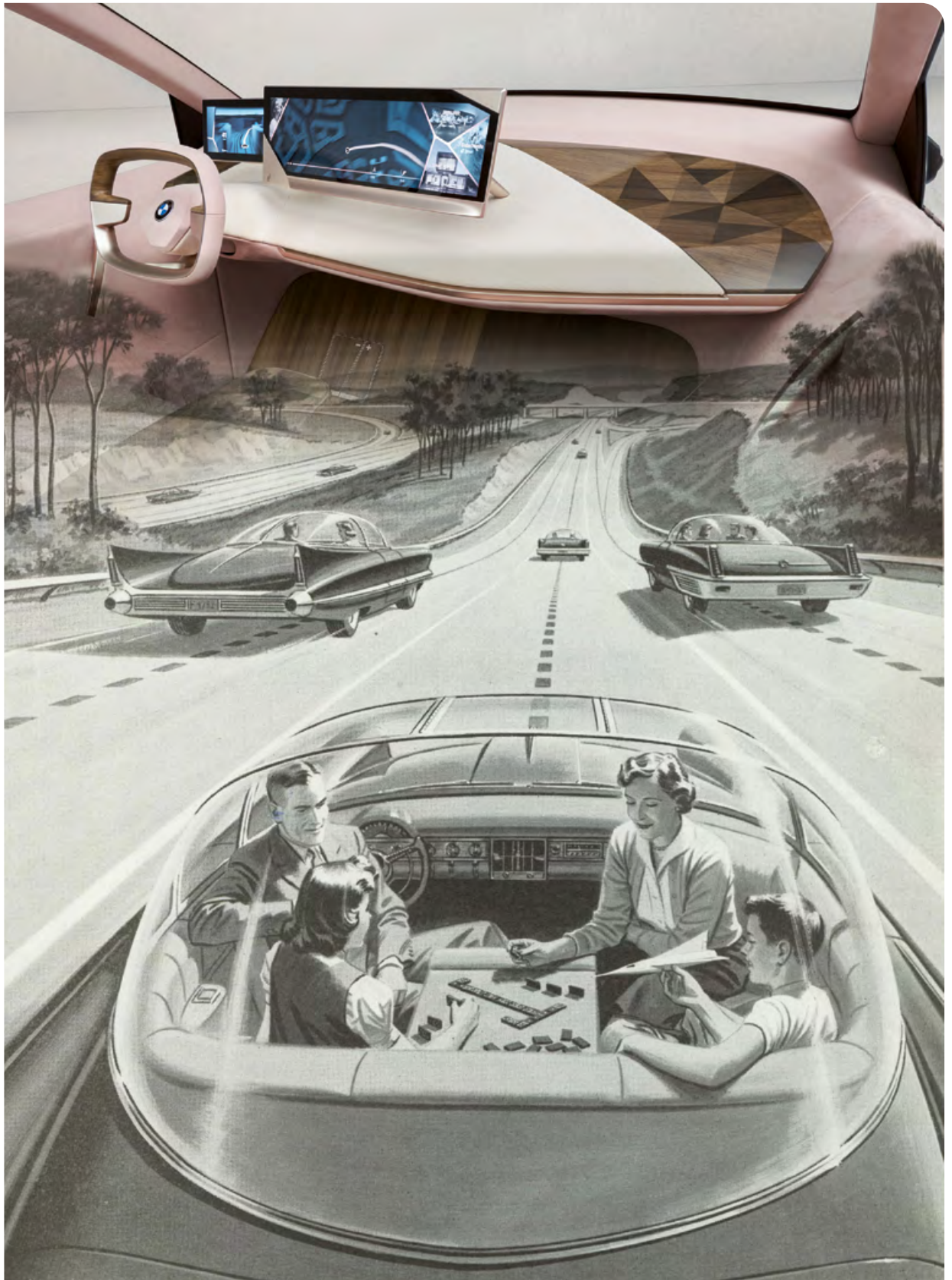
Bei der entscheidenden Umsetzung im Markt wird auch der Wettbewerb helfen. Wenn nur ein Unternehmen einen Markt aufbaut, ist das sehr begrenzt möglich. Wettbewerb belebt auch heute das Geschäft. ■

»Quantensensoren können beitragen, die Verschwendung von Ressourcen zu verhindern.«

2030  
2020  
2010  
2000  
1990  
1980  
1970  
1960  
1950

**Das Auto als Wohnraum auf Rädern**

Schon in den Fünfzigerjahren war es ein Traum: entspannt reisen – Kopf, Hände und Füße frei für Wichtigeres. »Highways will be made safe – by electricity«, hieß es damals. Heute wird der Traum Realität wie beim Cockpit des BMW Vision iNEXT (oben), das vergangenes Jahr bei der Consumer Electronics Show CES in Las Vegas erlebbar wurde. © alamy/F1 Online, BMW, Composing: Vierthaler & Braun



# Autonom und sicher

Der Traum vom perfekt entspannten Reisen im Auto ist alt – und war noch nie so dicht an der Realität wie heute. Doch bleiben Risiken. Ein Bordnetzausfall hätte fatale Folgen. Mit einem neuartigen Elektronikmodul schaffen Fraunhofer IZM und IISB Sicherheit.

Text: Olga Putsykina, Britta Widmann

**G**efahr auf der Straße – und der Wagen lässt sich nicht stoppen! Ein Horrorszenerario. Beim autonomen Fahren kann ein elektrischer Kurzschluss zum Versagen der Bremsen und der Lenkung führen. In autonomen Elektrofahrzeugen gewährleisten zwei Quellen die Energieversorgung: eine Hochvolt-Batterie und eine herkömmliche 12 Volt-Batterie. Sicherheitskritische Komponenten wie Lenkung und Bremsen werden somit immer von zwei Energiequellen versorgt. Damit es im Fall eines Kurzschlusses in einer der beiden Batterien nicht zu einem Totalausfall kommt, haben Forscherteams der Fraunhofer-Institute für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM und für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IOSB ein elektronisches Trennelement entwickelt. Dieses Elektronikmodul isoliert den Fehler im Bordnetz und bewirkt, dass das Elektrofahrzeug im Notfall zuverlässig reagiert.

## Zweites Bordnetz nicht nötig

In den heutigen Bordnetzarchitekturen von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen ist es üblich, den betroffenen Bereich durch eine Überlastsicherung abzugrenzen. Dieser Aufbau führt allerdings dazu, dass im Fehlerfall gänzlich abgeschaltet wird. Für das hoch- und vollautomatisierte Fahren ist eine solche Vorgehensweise nur dann möglich, wenn alle Komponenten und das Bordnetz redundant, also doppelt vorhanden sind. Das kostet Geld, Platz und Gewicht. Das Trennelement der Fraunhofer-Forschenden hingegen gewährleistet die Sicherheit während der Fahrt auch ohne ein zweites Bordnetz hochzuverlässig, indem es die fehlerhafte Komponente des Bordnetzes abschaltet und die Versorgung von sicherheitsrelevanten Komponenten aufrechterhält.

## Rettende Fahrt auf den Standstreifen

Phillip Arnold, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IZM, erklärt: »Mit den bisherigen Systemen kann es bei Unterspannungen während der Fahrt zu einem abrupten und unkontrollierten Ausfall der gesamten Elektronik, also auch

der Lenk- und Bremssysteme kommen. Gerade bei hohen Geschwindigkeiten ist das ein nicht tolerierbares Risiko. Dank unseres neuen Moduls funktioniert ein Teil des Bordnetzes weiter und das vollautomatisierte Auto hat noch ausreichend Zeit, um die Passagiere in einen sicheren Bereich zu fahren, auf einen Standstreifen oder Parkplatz.«

In der Leistungselektronik werden Feldeffekttransistor-Schalter – sogenannte MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) – verwendet, um große elektrische Ströme oder Spannungen zu leiten oder zu sperren. Das neu entwickelte Trennelement verfügt über 16 dieser MOSFET-Schalter und kann bis zu 180 Ampere problemlos leiten. Wird dieser Schwellenwert, etwa bei einem Kurzschluss, überschritten, öffnet der elektrische Schalter und trennt den Strom. Da die MOSFET-Schalter sogar bis 300 Ampere belastbar sind, werden sie weit unter ihrer Belastungsgrenze betrieben und weisen dadurch eine deutlich höhere Lebensdauer auf als bisherige Lösungen.

## Um den Faktor 60 schneller als bisherige Sicherungssysteme

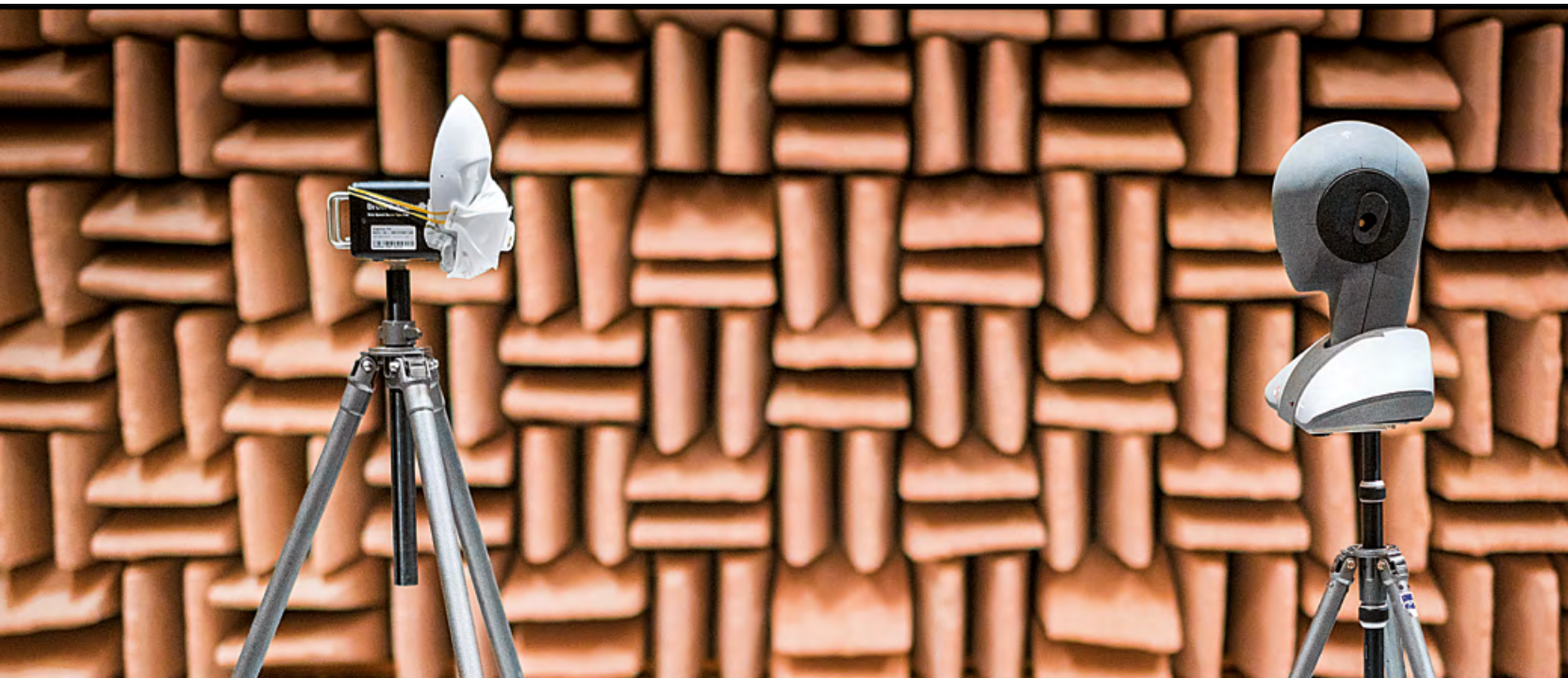
In Tests erzeugten die Forschenden künstliche Kurzschlüsse. Die Ergebnisse zeigten, dass das Elektronikmodul bis zu einer Stromstärke von 700 Ampere zuverlässig isolieren kann, ohne dass sich der Kurzschluss ausbreitet. Auch die Schaltschnelligkeit weist klare Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Prinzip auf: Während eine übliche Schmelzsicherung rund 20 Millisekunden zum Auslösen benötigt, detektiert das Trennelement einen Fehler binnen 10 Mikrosekunden und löst innerhalb von 300 Mikrosekunden aus. Damit ist es über 60-mal schneller als derzeitige Sicherungssysteme.

Das fertige Modul wurde bereits in einem elektrischen BMW i3-Demonstrator erfolgreich getestet und ist so ausgelegt, dass es prinzipiell in jedem Elektrofahrzeug eingesetzt werden kann. Als Ausfallschutz für unerwartete elektronische Ereignisse stellt es einen wegweisenden Schritt dar, um das autonome Fahren sicher und zuverlässig zu realisieren. ■

Bisher müssen beim autonomen Fahren Bordnetz und Komponenten doppelt vorhanden sein. Ein kleines Elektronikmodul kann da viel Geld, Platz und Gewicht sparen.



Klein: das Elektronikmodul. Groß: die Sicherheit. © Volker Mai



Tech-Dialog: Der Dummy sendet mit seinem künstlichen Mund durch die Maske. © Fraunhofer IBP

# Wie bitte?!

Wir leben, wir sprechen, wir verhandeln mit Maske vor Mund und Nase. Ein Fraunhofer-Forschungsteam hat jetzt quantifiziert, wie es um die Sprachverständlichkeit steht – und Abhilfen vorgeschlagen.

Text: Dr. Janine van Ackeren

**B**eim Ranking der Sätze, die von der Coronakrise profitiert haben, dürfte das »Wie bitte?« sicherlich ganz weit oben stehen. Die Maskenpflicht ist immunologisch sinnvoll, hinsichtlich der Sprachverständlichkeit jedoch schwierig. Aussagen wie »200 Gramm Bergkäse, bitte!« müssen meist einige Male wiederholt werden, bevor die Verkäuferin aus dem Genuschel, das aus der Maske dringt, die gewünschte Bestellung herausgedeutet hat. Besonders problematisch ist die reduzierte Sprachverständlichkeit für Personen mit Hörverlust – zudem die Maske die Lippen verdeckt, was das Sprachverstehen zusätzlich erschwert. Auch abseits von Corona kann das Masken-Genuschel zu Malaisen führen: Schließlich gehören Masken bei Ärzten, Pflegepersonal und Rettungskräften zum Berufsalltag.

Um bis zu 15 Prozent senken Stoffmasken die Sprachverständlichkeit.

**Wie es nun tatsächlich um die Sprachverständlichkeit bestellt ist – und wie sich diese von Maske zu Maske unterscheidet –**, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung Akustik des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP untersucht. Und nicht nur herausgefunden, was jeder anhand der Alltagserfahrungen erahnt, sondern quantifizierbare Ergebnisse geliefert. Diese stellen die Maskenentwicklung und -produktion in puncto Sprachverständlichkeit erstmalig auf ein wissenschaftliches Fundament. »Ist es rundherum ganz still, wie beispielsweise in einer kontrollierten Laborbedingung, wirken sich die Masken beim empfohlenen Sicherheitsabstand von 1,50 Metern kaum auf die Sprachverständlichkeit aus«, sagt Maria Zaglauer, Psychologin am Fraunhofer IBP. »Kommt jedoch ein leises Hintergrundgeräusch von 35 Dezibel dazu,

senken Stoffmasken die Sprachverständlichkeit um bis zu 15 Prozent.« Deutlich besser schneiden medizinische Einwegmasken ab: Hier wird die Sprachverständlichkeit nur um fünf Prozent reduziert. FFP2-Masken liegen mit etwa zehn Prozent im Mittelfeld. Das »Schwergewicht« im Sinne der Sprachverständlichkeit sind Halb- und Vollmasken, wie sie beispielsweise Feuerwehrleute tragen, die in einer durch einen Brand verqualmten Wohnung nach Menschen suchen. Diese machen das gesprochene Wort um 26 Prozent unverständlicher.

## Testreihe mit dem sprechenden Dummy

Für die Untersuchungen setzte das Team auf einen künstlichen Sprecher. Ein Dummy mit künstlichem Mund gab ein definiertes Signal ab, für menschliche Ohren ein unverständliches Rauschen. Doch ist dieses Geräusch wohldefiniert: Es gibt Spektrum und Lautstärke der menschlichen Sprache exakt und vor allem reproduzierbar wieder. Mal schallte der künstliche Mund dieses Rauschen frei in den akustischen Freifeldraum des Fraunhofer IBP hinein, mal wurde er mit verschiedenen Masken bestückt. Mit Messmikrofonen wurde das Signal in definierten Abständen aufgenommen. »Zusätzlich haben wir das Gesicht Sätze sprechen lassen, sodass der Effekt auch für Nicht-Akustiker erlebbar wird, die mit den Messwerten weniger anfangen können«, erläutert der Ingenieur Benjamin Müller, der die Versuche durchführte.

**Die Signale, die am Mikrophon ankamen**, analysierte das Forschungsteam auf zwei verschiedene Weisen. Erstens verglich es über einen Auswerte-Algorithmus die einzelnen Frequenzen der »Sprache«, die das Gesicht mit und ohne Maske von sich gab – in einem Bereich von 63 bis 8000 Hertz. Daraus wurden Rückschlüsse gezogen, welche Töne besser, welche weniger gut durch die Maske dringen und wie sich die Klangfarbe durch die Maske verändert. Die Ergebnisse zeigen, dass Masken die Sprache dumpfer wirken lassen und »helle« Töne stärker beeinflusst werden – darunter auch besonders die Frequenzen, die für die Sprachverständlichkeit wichtig sind. Außerdem ermittelte das Team, wie sich die Masken auf die Lautstärke des Gesamtsignals, also den wahrgenommenen Sprachpegel, auswirken. »Die Masken schlucken zwischen 5 bis 15 Dezibel, das entspricht im Mittel einer Verdopplung des wahrgenommenen Abstands zur sprechenden Person«, fasst Müller zusammen.

In einer zweiten Analyse errechneten die Wissenschaftler den »Speech Transmission Index« (STI), der ein Maß für die Sprachverständlichkeit darstellt. Er kann Werte zwischen »null« und »eins« annehmen, wobei »eins« für die optimale Sprachverständlichkeit steht. Verschiedene Größen fließen in diesen Index ein: die Lautstärke der Umgebung, die Lautstärke, mit der eine Person spricht und die Raumakustik, etwa die Halligkeit.

Um die Sprachverständlichkeit mit Maske in Form des STI realistisch abbilden zu können, variierten die Forscher bei all ih-

ren Versuchen nicht nur die Maskenarten, sondern auch die Räume. Sie führten ihre Untersuchungen, wie schon bei der ersten Analyse, in einem Freifeldraum durch, dessen Wände über besondere Wandverkleidungen sämtlichen Schall schlucken. Hier lässt sich exakt messen und nachvollziehen, welche Geräusche von der Schallquelle selbst stammen – ohne verfälschende Echos. Ist dies schon eine Besonderheit, kann das HiPIE-Labor sie noch toppen: Der Raum ist nicht, wie der Name vermuten lässt, mit bunten Kissens, Peace-Schriftzügen und Blumen geschmückt. Vielmehr steht der Name HiPIE für »High Performance Indoor Environment« und besagt: Hier lässt sich jede akustische Umgebung einstellen – innerhalb von Sekunden kann man von der Akustik eines Klassenraums auf die einer Kirche umschalten.

Möglich machen es Hunderte Lautsprecher, die in den Wänden integriert sind. Dort haben die Forscher für ihre Untersuchungen eine akustische Büroumgebung eingestellt, einmal mit typischem Hintergrundgeräusch, einmal mit lautem Hintergrundgeräusch, wie es etwa in Mehrpersonenbüros vorkommt. Schließlich wurde im Orgellabor – einem Labor für musikalische Akustik – des Instituts gemessen. Seine Akustik ist die eines großen Besprechungsraums, in dem Nachhall auftritt.

## Bessere Verständlichkeit dank transparenter Masken?

Doch was tut man nun mit all dem Wissen über die Sprachverständlichkeit mit verschiedenen Masken? »Die Erkenntnisse sollen vor allem dazu dienen, Masken mit verbesserter Sprachverständlichkeit herzustellen«, sagt Zaglauer. Müller ergänzt: »Auf diese Weise ließen sich die zur Bewältigung der Corona-Pandemie wichtigen Abstände einfacher einhalten, denn bei schlechter Sprachverständlichkeit rücken Menschen enger zusammen.« Daher haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits erste Gespräche mit möglichen Industriepartnern geführt. Im Fokus stehen unter anderem Fragen der System- und der Materialentwicklung. Vliese, die immunologisch gleichwertig sind, können am Fraunhofer IBP auf ihren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit hin geprüft und miteinander verglichen werden.

**Ergänzend zu den Messwerten** will sich das Forschungsteam der Frage der Sprachverständlichkeit künftig auch über Probandentests und Befragungen nähern. Zwar sind die Messwerte von künstlichem Mund und Ohren hinsichtlich der Genauigkeit und Vergleichbarkeit kaum zu übertreffen, doch können sie nicht alle Szenarien abdecken und die multimodale Wahrnehmung des Menschen nicht abbilden. Empfindet man die Sprachverständlichkeit beispielsweise als besser, wenn die Maske durchsichtig ist und man sowohl Lippenbewegungen als auch Mimik des Sprechers erkennen kann? Antworten darauf könnten das notwendige Maskentragen künftig erleichtern – und das verständnislose »Wie bitte?« in vielen Fällen überflüssig machen. ■

»Masken schlucken zwischen 5 und 15 Dezibel. Das entspricht im Mittel einer Verdopplung des wahrgenommenen Abstands.«

Dr. Benjamin Müller,  
Fraunhofer IBP

## Schritt für Schritt zur richtigen Haltung



Eine fehlerhafte Haltung, langes Stehen oder immer gleiche Bewegungen sind die größten Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz. Um Erkrankungen des Bewegungsapparates vorzubeugen, hat ein Forscherteam des Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS in Portugal zusammen mit der luxemburgischen Firma IEE S.A. »ErgoFeet« entwi-

ckelt: Eine Schuheinlage erkennt mittels Sensoren den Druck auf die Fußsohle und kann so Rückschlüsse auf Haltungsabweichungen ziehen.

Die KI-basierte Technik ermittelt Schweregrad und Dauer der Fehlhaltung und ermöglicht so ein frühzeitiges individuelles Gegensteuern, um Gesundheitsschäden zu vermeiden.

Bislang wurden ähnliche Geräte nur im Leistungssport oder in der Rehabilitation angewandt. »Das ErgoFeet-Projekt hat gezeigt, dass diese Technik auch in anspruchsvollen Arbeitsumgebungen anwendbar ist«, erklärt Projektleiterin Diana Gomes. Laut der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz OSHA leiden drei von fünf Arbeitnehmern in der EU unter Muskel-Skelett-Beschwerden.

Portugal

# Fraunhofer weltweit

## Elektronisches Infusionsset soll Sterblichkeit senken



Viele Krankheiten erfordern eine Infusionstherapie. Wird diese ungenau dosiert, kann das zu Komplikationen oder sogar zum Tod führen. Infusionspumpen, die eine kontrollierte, sichere Dosierung ermöglichen, sind teuer und wartungsintensiv, weshalb sie in Entwicklungsländern meist nicht eingesetzt werden. Einem Team des Uganda Industrial Research Institute ist es gelungen, eine kostengünstige und sichere Alternative zu entwickeln. Ein erster Prototyp des ECGF-IS (»Electroni-

cally Controlled Gravity Feed Infusion Set«) wurde bereits erfolgreich klinisch getestet. Gemeinsam mit der Fraunhofer-Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie PAMB wird das Gerät jetzt weiterentwickelt.

In ugandischen Krankenhäusern sind Schwerkraftinfusionen über einen erhöht angebrachten Beutel Standard. Die Flussrate wird am Schlauch durch eine Klemme manuell eingestellt, was oft zu Fehldosierungen führt. »Das neue System ist

mit einem Sensor ausgestattet, der die Tropfen der Infusion selbstständig zählt«, erläutert Tobias Behr, Ingenieur in der Fraunhofer PAMB. Die Tropfrate bleibt konstant, ist aber nachjustierbar. Die bislang verwendeten Beutel und Schläuche müssen nicht ausrangiert werden, das System lässt sich einfach daran klemmen. Das ECGF-IS läuft batteriegesteuert, eine solarbetriebene Ladestation ist in Entwicklung. Die Kooperation ist mit dem Deutsch-Afrikanischen Innovationsförderpreis 2020 ausgezeichnet worden.

Uganda



## Die Batterie der Zukunft made in Europe



Batterien müssen mehr Energie speichern, eine längere Lebensdauer haben, sicherer und umweltfreundlicher werden, damit der Wandel hin zu einer klimafreundlichen Gesellschaft gelingen kann. Die »Battery2030plus«-Initiative ist von der Europäischen Kommission beauftragt, diese Forschungsanstrengungen zu koordinieren. Geleitet wird »Battery2030plus« von Prof. Kristina Edström, Universität Uppsala, Schweden. Das Fraunhofer-FuE-Zentrum Elektromobilität Bayern des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC ist daran maßgeblich beteiligt.

Ein Schwerpunkt der Initiative ist die computergestützte Modellierung und

Werkstoffentwicklung. In dem Projekt BIG-MAP (»Battery Interface Genome – Materials Acceleration Platform«) geht es um ein besseres Verständnis der komplexen Reaktionen innerhalb der Batterie und die Entwicklung einer völlig neuen Zellchemie. Unter anderem berechnet eine KI, welche Elektrodenmaterialien und Elektrolyte am besten kombiniert werden können, damit die Batterie so viel Energie wie möglich speichert oder in unterschiedlichen Szenarien schneller aufgeladen werden kann.

Das Fraunhofer ISC leitet das Teilprojekt »Modulare Robotik«. Auf Basis der digitalen Experimente sollen zum Beispiel Schutzschichten durch autonome Robotersysteme synthetisiert und so die Entwicklung nachhaltiger und leistungsstarker Batterien entscheidend beschleunigt werden.

Schweden



Europa

## Pankreas-Tumoren auf der Spur



Heimtückisch, aggressiv und nur selten besiegbare Bauchspeicheldrüsenkrebs gehört zu den tödlichsten Tumoren. Das Krankheitsbild ist heterogen, die molekulare Biologie des Karzinoms weitgehend unerforscht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik IBMT haben es sich in dem europäischen Projekt NExT zur Aufgabe gemacht, die spezifischen Biomarker von pankreatischen neuroendokrinen Tumoren (PNETs) zu identifizieren. So kann die Krankheit frühzeitig erkannt werden.

Das Forschungskonsortium aus sechs europäischen Partnern wird vom Fraunhofer IBMT geleitet. Ein internationales Team aus Biologen, Onkologen, Pathologen, Endokrinologen und Ingenieuren errichtet eine Gewebekbank mit genetisch charakterisierten PNET-Proben und analysiert detailliert deren molekulare Eigenschaften und Metastasierung. Dafür entwickelt das Fraunhofer IBMT ein mikrofluidisches Chip-System mit spezieller Mikroloch-Struktur zur Zellsortierung und -charakterisierung. Zirkulierende Tumorzellen gelten als attraktive Biomarker für die Flüssigbiopsie, da sie einen frühen Schritt in der blutübertragenen Metastasierung kennzeichnen. So könnte der Krebs nicht nur früher diagnostiziert, sondern auch der Erfolg chirurgischer Eingriffe erhöht und die Überlebensrate verbessert werden.

»Wir können uns vorstellen, dass unsere Technik in Zukunft eingesetzt wird, um zu prüfen, ob Fluggäste mit dem Coronavirus infiziert sind.«

Dr. Jessy Schönfelder,  
Fraunhofer MEOS



## Was der Atem verrät

Krebs, Diabetes, Nierenprobleme – ein spezielles Ionenmobilitätsspektrometer des Fraunhofer-Projektzentrums MEOS ermöglicht es künftig, Krankheiten per Atemanalyse zu erkennen. Und das, bevor Symptome auftreten.

Text: Britta Widmann

© Stocksy/F1online

**H**alskratzen, Schnupfen, Fieber – grippaler Infekt oder Ansteckung mit dem Coronavirus SARS-CoV-2? Forscherteams am Fraunhofer-Projektzentrum für Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS arbeiten aktuell an einem Messsystem, das künftig beide Krankheiten präzise unterscheiden soll. Das neuartige Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) erkennt, ob Menschen an COVID-19 oder einer anderen Atemwegsinfektion erkrankt sind. »Der Atem enthält Informationen, die wir für die Analyse nutzen«, sagt Dr. Jessy Schönfelder, Wissenschaftlerin am Fraunhofer MEOS. Ein leicht süßlich-fruchtiger Acetongeruch etwa deutet auf Diabetes hin. Am Projektzentrum in Erfurt arbeiten die Fraunhofer-Institute für Zelltherapie und Immunologie IZI, für Photonische Mikrosysteme IPMS und für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF interdisziplinär zusammen.

## Wie Krankheiten riechen

Die charakteristischen Gerüche von Krankheiten entstehen durch spezifische flüchtige organische Verbindungen (VOC, kurz für Volatile Organic Compounds). Diese werden durch die erkrankten Gewebe oder die Krankheitserreger selbst freigesetzt, noch bevor Symptome auftreten.

Bei einer Vielzahl von Erkrankungen verändert sich die Zusammensetzung der flüchtigen organischen Spurengase in der Atemluft, die als Biomarker verwendet werden können. Oftmals sind es Kombinationen aus mehreren Spurengasen in einer deutlich erhöhten oder deutlich erniedrigten Konzentration, die charakteristisch für eine bestimmte Krankheit sind. »Man spricht hier auch von einem VOC-Fingerprint oder einem Muster an VOCs«, erläutert Schönfelder.

**Solche Marker-Kombinationen** gibt es für sehr viel mehr Krankheiten als bisher bekannt. Sie müssen Stück für Stück entschlüsselt werden. Mit ihrem Team will die Chemikerin mithilfe des Ionenmobilitätsspektrometers solche Muster an VOCs erkennen. Keine leichte Aufgabe, bedenkt man, dass jeder Mensch etwa 200 VOCs in der Atemluft hat.

Ziel des Forscherteams am Fraunhofer MEOS ist es, mit der neuen Technologie eine große Bandbreite an Biomarkern zu detektieren. Beispielsweise soll die Atemanalytik künftig erste Hinweise auf neurodegenerative Erkrankungen wie Alzheimer liefern – und zwar früher und angenehmer als bisherige Methoden wie die Blutabnahme. Schließlich muss der Patient nur in ein Röhrchen pusten.

»Das Potenzial der Atemluftsensorik ist groß. Die nicht invasive IMS-Technologie ist sensitiv und selektiv, schnell, kostengünstig und zudem klein und mobil, sodass sie problemlos in Arztpraxen und Krankenhäusern eingesetzt werden kann. Das

fertige System wird die Größe eines Schuhkartons haben«, sagt Schönfelder.

## Chip mit wechselnder Spannung

Herzstück des neuartigen Ionenmobilitätsspektrometers ist ein miniaturisierter FAIMS-Chip (High Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry). Das MEMS-Bauelement umfasst einen Ionenfilter und einen Detektor. Eine UV-Lampe komplettiert das Gerät. Zunächst werden die VOCs in einem Trägergasstrom in das Spektrometer gepumpt, wo sie im nächsten Schritt mithilfe des UV-Lichts ionisiert werden. Das heißt, sie werden zu geladenen Molekülen. Diese leiten die Forscher an den FAIMS-Chip weiter, der am Fraunhofer IPMS entwickelt wurde. Anschließend legen sie an die Filterelektroden eine alternierende Spannung an. Durch das Einstellen der Spannung am Filter kann man auswählen, welche VOCs zum Detektor gelangen. »Auf diese Weise erhalten wir unseren VOC-Fingerprint, anhand dessen wir die Erkrankung erkennen können«, erklärt Schönfelder das Verfahren.

**Derzeit arbeitet das Forscherteam** an einer optimierten elektronischen Steuerung und einer verbesserten Probenentnahme und Probenführung. Referenzmessungen an Zellkulturen wurden erfolgreich durchgeführt, weitere Untersuchungen mit humanen Proben aus der Klinik sind geplant. Am Fraunhofer IZI konnten in einem abgeschlossenen Projekt bereits sieben verschiedene Bakterienstämme mit einer ähnlichen Technologie unterschieden werden.

## Fluggäste screenen

Eigens entwickelte KI-Algorithmen sollen die Auswertung der VOC-Fingerprints erleichtern. »Pro Messung erhalten wir eine halbe Million Messwerte. Diese hohe Datenmenge wollen wir per Machine Learning auswerten«, so die Forscherin. Der Algorithmus wird mit Proben von gesunden Probanden und Krebspatienten trainiert. Das Messergebnis liegt innerhalb weniger Minuten vor.

Das Messsystem kommt auch im Fraunhofer-Clusterprojekt M<sup>3</sup>Infekt zum Einsatz, das die Entwicklung eines modularen, multimodalen und mobilen Monitoringsystems zum schnellen Eingreifen bei plötzlichen Zustandsverschlechterungen von COVID-19-Patienten zum Inhalt hat. »Wir fokussieren uns derzeit auf das frühzeitige Erkennen von Krebserkrankungen. Es wird noch einige Zeit dauern, bis wir COVID-19 und Grippe unterscheiden können, aber das wird prinzipiell möglich sein«, erläutert Dr. Jessy Schönfelder. »Wir können uns auch vorstellen, dass unser Ionenmobilitätsspektrometer in Zukunft eingesetzt wird, um zu prüfen, ob Fluggäste mit dem Coronavirus infiziert sind«, so die Chemikerin. ■



Dr. Jessy Schönfelder bei der Analyse-Arbeit am Fraunhofer MEOS.  
© Fraunhofer MEOS

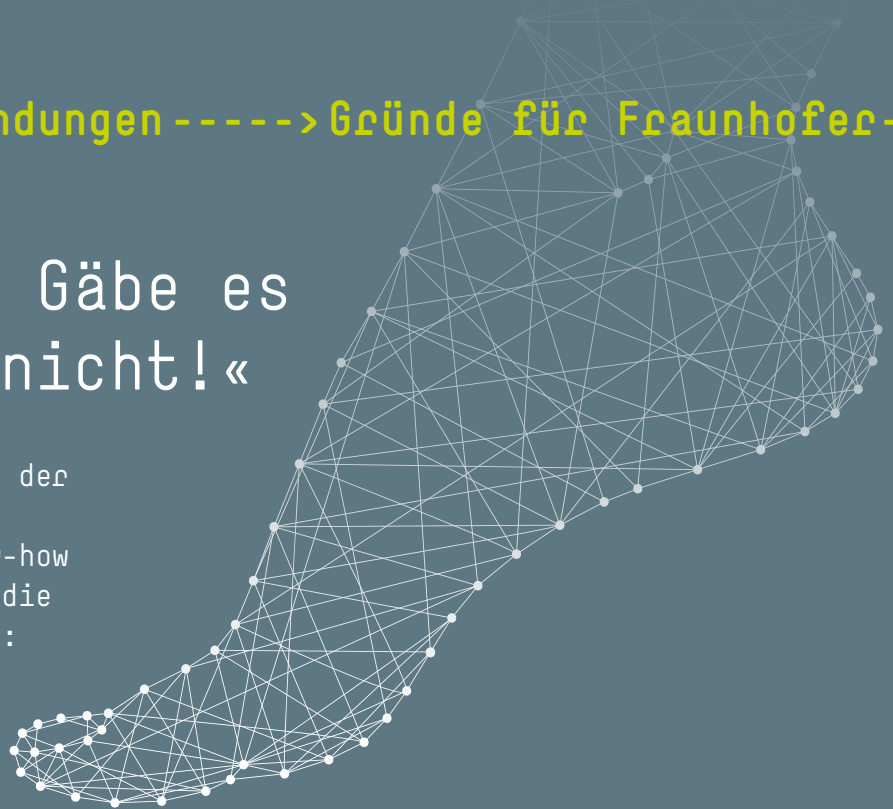
**Viele Erkrankungen verändern die flüchtigen organischen Spurengase. Es entsteht ein VOC-Fingerprint.**

-----> Gründer -----> Ausgründungen -----> Gründe für Fraunhofer -----

## »Ohne Fraunhofer? Gäbe es unseren Spin-out nicht!«

Online Schuhe kaufen, bei denen sogar der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck passt? Die Idee dreier Gründer fasziniert. Das passende Know-how und die Anschub-Finanzierung stellte die Fraunhofer-Gesellschaft. Das Ergebnis: der erfolgversprechende Spin-out mySHOEFITTER.

Text: Dr. Janine van Ackeren



Corona hat vieles verändert, auch unser Einkaufsverhalten. Gehörte vorher der gemütliche Einkaufsbummel durch die Innenstädte fest zum Alltag der meisten Menschen, erlebt der Online-Handel durch Lockdown und häusliche Zurückgezogenheit einen enormen Boom. Die Vorweihnachtszeit dürfte die Zahl der Online-Bestellungen erneut auf ein Rekord-Niveau treiben. Doch so praktisch die Online-Bestellerei in vielerlei Hinsicht sein mag – sie hat ihre Tücken. Etwa beim Schuhkauf: Jedes zweite Paar Schuhe, das im Internet bestellt wird, landet als Retoure wieder beim Verkäufer – 75 Prozent davon, weil die Schuhe in der falschen Größe bestellt wurden. Denn die Größen sind nicht genormt: Braucht man im Joggingsschuh der Lieblingsmarke Größe 41, ist der Straßenschuh eines anderen Herstellers in Größe 42 noch fast zu klein. Viele Online-Käufer gehen daher dazu über, das gewünschte Modell gleich in drei oder mehr verschiedenen Größen zu bestellen und die nicht passenden Schuhe wieder zurückzuschicken.

### Schuhretouren sind nicht ohne: 15 Euro Kosten, 500 Gramm CO<sub>2</sub>

Markus Piebrock ist der Mann, der sich vorgenommen hat, das zu ändern. Die Idee beschäftigt ihn seit dem Jahr 2013. Als Co-Founder der Online-Shops Tennis-Point und Jogging-Point hat er nicht nur viel über empfindliche Füße gelernt. »Zwar wurden bei uns nur 30 Prozent der bestellten Schuhe zurückgeschickt«, erinnert er sich, »dennoch waren diese Retouren ein richtig dicker Kostenfaktor.« Schließlich kostet eine Retoure den Online-Versandhandel durchschnittlich 15,18 Euro, wenn man die nötigen Porto-, Personal- und Verpackungskosten einbezieht. Und dann die Umwelt: Jede Schuhretoure schlägt mit einer CO<sub>2</sub>-Bilanz von 500 Gramm zu Buche, hinzu kommen

Verpackungsmüll und Schuhe, die vernichtet werden, weil ihre Aufbereitung für einen erneuten Versand nicht mehr möglich oder zu aufwendig ist. Dazu kostet es die Verbraucher Zeit und Nerven, die Kartons mit den drückenden Schuhen zurück zur Post zu tragen.

### Piebrocks Idee klingt einfach – und verspricht klaren

**Nutzen** für Versandhandel, Umwelt und Verbraucher: Hat man ein Schuhmodell gefunden, öffnet man per Link eine entsprechende App oder die im teilnehmenden Online-Shop integrierte Technologie und nimmt ein Foto vom Fuß auf. Das war's schon. Im Hintergrund berechnen Algorithmen anhand des Bildes die Größe der Füße auf den Millimeter genau. Die Ergebnisse werden mit den Herstellerangaben zum ausgewählten Schuhmodell abgeglichen, die in Form von Millimeter- oder Inches-Angaben in einer Datenbank hinterlegt sind. All das dauert nicht länger als wenige Sekunden. Der Kunde braucht nichts weiter zu tun: Die ihm passende Schuhgröße wird automatisch auf der Online-Seite des Versandhandels angezeigt.

### Alleingang bei der Entwicklung? Schwierig ...

Die Umsetzung jedoch gestaltete sich schwerer als erwartet: Der erste Prototyp, den Piebrock vor einigen Jahren entwickelte, lag nur bei vier von 100 Messungen richtig. Zwar mag die Aufgabe einfach klingen, die dafür notwendigen Algorithmen sind allerdings extrem kompliziert. So muss die Software beispielsweise erkennen, welche Teile des Fotos zum Fuß gehören, welcher Zeh am längsten ist und den Abstand zum hintersten Teil der Ferse bestimmen. Im Alleingang, merkten Piebrock und sein Kollege Frederik Dürr, wird das nichts. »Hier



kam Fraunhofer ins Spiel«, erinnert sich Piebrock. »Kurz zuvor hatte ich auf einer Veranstaltung des Bundesverbandes für mittelständische Wirtschaft (BVMW) Prof. Harald Mathis vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT kennengelernt, mit dem ich mittlerweile befreundet bin. Er ermunterte mich, den Algorithmus mit Fraunhofer-Hilfe auf die nächste Stufe zu heben.« Oder genauer gesagt: den Algorithmus neu zu entwickeln, wie sich im Laufe der Zeit herauskristallisierte. »Ungefähr messen können viele, allerdings sind es die berühmten letzten fünf Prozent, an denen alle anderen scheitern. Da eine halbe Schuhgröße etwa einem Unterschied von vier bis sechs Millimetern entspricht, muss die App mindestens auf drei Millimeter genau arbeiten«, schildert Piebrock die Herausforderung. Diese Hürde haben die Gründer Piebrock, Dürr und die neu hinzugekommene Kollegin Claudia Ebbers durch die Kooperation mit dem Fraunhofer FIT erfolgreich genommen: In ersten breit angelegten Teststudien liefern nun 95 von 100 Messungen das richtige Ergebnis. Weltweit einzigartig, wie Piebrock voller Stolz hervorhebt.

**Eine tolle Idee plus eine verlässliche Umsetzung:** Das ergibt eine solide Basis für einen Spin-out, der die Entwicklung auf den Markt bringen will. Doch woher sollte das Geld dafür kommen? »Wir brauchten einen Investor, da wir das alleine finanziell nicht hätten stemmen können. Das wäre das Aus für unsere Entwicklung gewesen«, erzählt Piebrock. Doch auch hier reichte Fraunhofer den Gründern in spe die helfende Hand. Piebrock und Partner wandten sich an Jörg Wamser vom Fraunhofer Technology Transfer Fund, kurz FTTF, der ausschließlich Fraunhofer-Technologien unterstützt. »Er war begeistert von unserer Idee«, erinnert sich der heutige Geschäftsführer Piebrock. Kurzum: FTTF finanzierte den neu

gegründeten Spin-out mySHOEFITTER GmbH mit einem sechststelligen Betrag und erhielt dafür im Gegenzug einen kleinen Prozentsatz der Firmenanteile. »Wir finden das einfach cool«, freuen sich die Gründer. »Ohne Fraunhofer wären weder die Technologieentwicklung noch die Gründung des Spin-outs möglich gewesen.«

### Das Fraunhofer-Team tüftelt weiter mit

Und die Zusammenarbeit geht weiter. So tüftelt das Fraunhofer-Team gemeinsam mit den drei Gründern und Geschäftsführern Piebrock, Dürr und Ebbers derzeit daran, wie sich Künstliche Intelligenz in die Algorithmen integrieren lässt. Dann könnte die App Ähnlichkeiten in der Fußform von Kunden finden und anhand der nicht-retournierten Käufe anderer Kunden passende Modelle vorschlagen. Auch könnten die Daten, anonymisiert versteht sich, Herstellern helfen, ihre Schuhmodelle an die tatsächlichen Fußgrößen und -formen der Kunden anzupassen – und auch so letztlich Ressourcen zu schonen.

Trotz der weiterlaufenden Entwicklung ist die App mySHOEFITTER bereits im Pilotkundenstatus. Das heißt: Die Gründer führen derzeit erste Gespräche mit Kunden, die »die App mit uns hart am Wind testen«, wie Piebrock sich ausdrückt. Gesucht werden zwei oder drei Schuhhersteller mit eigenem Online-Versand, mit denen die derzeit verfügbare Demonstrator-App anhand der Bedürfnisse von Firmen und Kunden weiterentwickelt werden kann – etwa hinsichtlich Fragen der Usability. Und bei denen die Schuhkäufer dann künftig nur noch ein Modell des gewünschten Schuhs bestellen müssten: das passende. ■

Das Team von mySHOEFITTER: Frederik Dürr, Claudia Ebbers und Markus Piebrock (v.l.)  
© Lars Berg

»Wir finden das einfach cool«, sagen die Gründer. »Ohne Fraunhofer wären weder die Technologieentwicklung noch die Gründung des Spin-outs möglich gewesen.«

Markus Piebrock

# Ausgezeichnet verpackt

Was muss eine umweltgerechte Verpackung leisten? Ob sie wiederverwertbar oder biologisch abbaubar ist, liegt nicht allein am Material. Entscheidend ist seine Beschichtung.

Text: Dr. Monika Offenberger

Sechs Preise allein im Jahr 2020 – das beweist, wie groß Bedarf und Interesse wirklich sind.

**P**roud Mary«, »Knockin' on Heaven's Door«, »Down on the Corner«: Zum Repertoire von Sabine Amberg-Schwab gehören jede Menge Rockklassiker. »Wir spielen meistens ältere Sachen. Balladen und gern auch fetzige Stücke«, erzählt die passionierte Schlagzeugin. Doch während der Corona-Pandemie sind Bandproben erst mal auf Eis gelegt. Ohnehin bleibt der promovierten Chemikerin kaum Zeit für ihr Hobby. Denn ihre Arbeitstage am Würzburger Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC sind lang. Als Expertin für Barrierschichten und Chemische Beschichtungstechnologie entwickelt sie neue Konzepte für umweltfreundliche Verpackungen. Und ist damit enorm erfolgreich.

**Es ging Schlag auf Schlag für die Schlagzeugin:** Mit einer neuen Klasse von Lacken namens bioORMOCER® hat Sabine Amberg-Schwab allein 2020 sechs Preise gewonnen. Los ging's mit dem 3. Platz des Innovation Award als Biobased Material of the Year, vergeben vom nova-Institut. Es folgte der Deutsche Verpackungspreis in der Kategorie Nachhaltigkeit und der Deutsche Verpackungspreis in Gold. Beim europaweiten Wettbewerb um den Sustainability Award, jährlich ausgelobt von Packaging Europe, wurde das umweltschonende Beschichtungskonzept schließlich Sieger der Kategorie Biobasierte Verpackungen – und dazu außerdem noch Gesamtsieger über alle acht Kategorien. Im Dezember kam dann noch der Deutsche Nachhaltigkeitspreis, Sonderpreis Verpackung, obendrauf. »Am meisten gefreut hat mich die Auszeichnung von Packaging Europe. Denn unter den Mitbewerbern waren viele Firmen, die schon tolle Produkte am Markt vorweisen konnten. Wir hatten als einziges Forschungsinstitut erst einige Verpackungen im Labor hergestellt. Die Jury bestand aus Experten. Allein die Nominierung war sensationell. Und dann Gesamtsieger über alle Kategorien! Das ist fantastisch, eigentlich unfassbar.«

Jetzt strahlt das Gesicht auf dem Bildschirm. Das Treffen findet virtuell statt, wie so viele in diesem Jahr, von Home-

office zu Homeoffice. Dennoch schafft es die lebhaftere Frau am anderen Ende der Leitung, beste Laune zu verbreiten. Ein freundliches Lächeln zur Begrüßung. Echte Freude über die Glückwünsche. Zunehmende Begeisterung, als sie die Vorteile der preisgekrönten bioORMOCER®e beschreibt: »Sie kommen für alle möglichen Produkte infrage. Vor allem aber für recyclingfähige oder kompostierbare Verpackungen, ob aus Papier oder Pappe, aus Biomaterialien oder erdölbasierten Kunststoffen.« Tatsächlich lassen die neuartigen Lacke kaum einen Wunsch offen: Mit maximal fünf Mikrometern sind sie hauchdünn. Dennoch bilden sie eine zuverlässige Barriere gegen Sauerstoff, weitere Gase und Aromastoffe. Auch Wasserdampf halten sie vom Verpackungsinhalt fern. Deshalb lassen sich damit sogar Verpackungen aus erdölbasierten Kunststoffen als Monomaterialien recyclingfähig machen. Die Schichten sind abriebfest und lassen sich bedrucken, beschichten und verkleben. Man kann sie im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf ebene Substrate aufbringen, aber auch auf Schalen und sonstige komplex geformte Oberflächen.

## Ein echtes Multitalent für die Verpackung der Zukunft

Wie erzeugt man solche Multitalente? »Wir verbinden zwei Sorten von Netzwerken: ein anorganisch-silicatisches Netzwerk und ein organisches Netzwerk. Und beides muss dann auch noch miteinander bestmöglich vernetzt werden«, erklärt die Preisträgerin. So entstehen hybride Geflechte aus sehr unterschiedlichen verzweigten Kettenmolekülen, die organisch modifizierten silicatischen Netzwerke alias ORMOCER®. Diese besondere Klasse von Polymeren wurde in den späten 1970er-Jahren am Fraunhofer ISC geschaffen und hat seither unzählige Stofffamilien mit immer neuen Eigenschaften hervorgebracht. »Das Fraunhofer ISC war ja ursprünglich ein reines Glas- und Keramik-Forschungsinstitut. Doch dann hat man es geschafft, glasartige Materialien nicht mehr bei großer Hitze aushärten zu lassen, sondern bei sehr viel niedrige-



Ein Forscherleben für die Verpackung – doch nicht nur beruflich geht es für Dr. Amberg-Schwab 2020 Schlag auf Schlag. © Foto Studio Schwab Remlingen / Knud Dobberke / Composing Vierthaler & Braun

ren Temperaturen. Damit ergab sich erstmals die Möglichkeit, organische Komponenten einzubringen und den Grundstock für eine Fülle neuer Anwendungen zu legen«, erzählt Sabine Amberg-Schwab.

**Sie selbst legt in dieser Zeit den Grundstock** für ihre wissenschaftliche Laufbahn. »Ich hatte als Kind so einen Biologiebaukasten, und meine Freundin hatte einen für Chemie. Damit haben wir auf dem Balkon meiner Eltern Experimente durchgeführt. Da gab's schon mal schlimme Flecken auf den Fliesen«, sagt das Bildschirmgesicht und lacht wie das kleine Mädchen von damals. Ein naturwissenschaftliches Studium lag nahe, »doch ich wollte weder Biologie noch Chemie alleine studieren. Deshalb habe ich mich für Lehramt an Gymnasien eingeschrieben und beide Fächer studiert«. Schnell merkt sie aber, dass sie lieber forschen als vor einer Schulklasse stehen will. Also macht sie nach ihrer Zulassungsarbeit gleich weiter mit einer Doktorarbeit über silicatische Materialien – und bekommt noch vor der Promotionsprüfung eine Stelle am Fraunhofer ISC.

### Bei Fraunhofer findet sie den ungleich größeren Chemiebaukasten

Dort steht ihr ein ungleich größerer Chemiebaukasten zur Verfügung als Jahre zuvor in ihrer hessischen Heimatstadt Gelnhausen. Sie ist fasziniert von den ORMOCER®-en und ihren besonderen Eigenschaften: »Als ich 1989 im Fraunhofer ISC angefangen habe, gab es schon verschiedene abrieb- oder korrosionsbeständige Beschichtungen für Metalle, Polycarbonat und Glas. Aber es gab noch keine Barrierschichten. Da hab ich gedacht: Das ist ein neues Feld, das guck ich mir doch mal an!« Wieder schwappt ein Lachen aus dem PC und verrät ihre Lust am Experimentieren. Wenige Monate nach ihrem Einstand am ISC beginnt die frisch Promovierte, die ersten Barrierelecke zu synthetisieren: »Wir konnten sehr schnell gute Barrieren realisieren. Besser als alles, was man für die Verpackung von Lebensmitteln braucht.« 2011 präsentiert sie eine Low-Cost-Barrierefolie, mit der sich Solarzellen flexibel verkapseln lassen. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IVV, das die Rolle-zu-Rolle-Applikation der ISC-Beschichtung entwickelt hat, bekommt sie dafür den Fraunhofer-Preis für herausragende wissenschaftliche Leistungen.

**Parallel dazu tüftelt die Chemikerin** weiter an Barrierschichten für Verpackungen. »Der Verpackungsmüll war ja damals schon ein Riesenproblem, vor allem der Plastikmüll. Es war mir ein persönliches Anliegen, hier etwas zu bewegen. ►



Der Deutsche Verpackungspreis ist eine der bedeutenden Auszeichnungen für die Fraunhofer-Forscherin im Jahr 2020.

► Also haben wir uns überlegt: Wie wär's denn, wenn wir Papier oder bioabbaubare Folien mit einem Barrierelack beschichten? Denn so könnten wir auch kompostierbare Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen mit Eigenschaften ausstatten, die ihnen selbst fehlen – und sie damit fit machen für den Einsatz als Lebensmittelverpackung.« Dieser neue Lack sollte nicht nur die hohen Barriereanforderungen erfüllen. Er sollte zudem genauso biologisch abbaubar sein wie das Verpackungsmaterial, das damit beschichtet würde.

2014 beginnt Sabine Amberg-Schwab damit, die erdölbasierten organischen Komponenten der ORMOCER® sukzessive zu reduzieren. Als Ersatz dienen pflanzliche oder tierische Polymere, die als Reststoffe bei der Lebensmittelherstellung anfallen. Durch dieses Upgrading von Bioabfällen wie Obsttrester oder Krabbschalen entsteht keine Konkurrenz zu landwirtschaftlichen Anbauflächen. Nach unzähligen Versuchen mit immer neuen Formulierungen kommt schließlich der Durchbruch: Die neuen bioORMOCER®e sind ähnlich leistungsfähig wie ihre Vorläufer, aber biologisch abbaubar. Das überzeugt die Jury der Ellen-MacArthur-Foundation; 2018 gewinnt Sabine Amberg-Schwab mit ihrer Entwicklung den New Plastics Innovation Prize.

### Gefühl für Takt und Tempo – beuflich und privat

Wie hat sie in wenigen Jahren eine gute Idee in einen völlig neuen, umweltschonenden Werkstoff verwandelt? »Das schafft nicht eine Person alleine. Ich hatte ein fantastisches Team! Und ich kann sehr gut Leute motivieren«, sagt die

Fraunhofer-Frau über sich selbst: »Wir hatten immer viel Spaß bei der Arbeit.« Sabine Amberg-Schwab setzt nicht nur im eigenen Labor auf Teamarbeit. Als Leiterin der POLO®-Allianz bündelt sie bis 2012 zehn Jahre lang die Expertise von sieben Fraunhofer-Instituten, die sich mit polymeren Oberflächen befassen. Und nach der Arbeit rockt sie mit ihren Fraunhofer-Kollegen in der POLO-Band. Hier wie dort ist Teamgeist gefragt. Dazu Disziplin und Durchhaltevermögen, Begeisterungsvermögen und Kreativität. Und vor allem das rechte Gefühl für Takt und Tempo.

### Das Schlagzeug ist auch im Corona-Lockdown nicht verwaist.

»Nach der Arbeit hilft es mir, Stress abzubauen. Das geht am besten mit lauten, funky Rhythmen«, sagt die Wissenschaftlerin. Tatsächlich ist ihre Arbeitslast höher denn je. Die vielen Preise haben dem bioORMOCER®-Konzept viel Aufmerksamkeit beschert – zumal das 2019 novellierte Verpackungsgesetz drastisch höhere Recyclingquoten vorschreibt. Seither melden sich beim Fraunhofer ISC Firmen aus der Lebensmittel-, Kosmetik- und Pharmaindustrie, dazu Papier- und Folienhersteller, Recycler, Verpacker, Komponentenanbieter und Start-ups für nachhaltige Verpackungsmaterialien. Interessenten aus aller Welt suchen die Expertise von Sabine Amberg-Schwab. Immer sind dabei sehr spezielle Probleme zu lösen, die weit über die Barriereigenschaften hinausgehen: Die Beschichtungsmaterialien müssen verarbeitet werden, es soll wenig kosten, und die Firmen wollen ihre etablierten Anlagen weiterhin nutzen. »Da muss man schauen, ob es unter allen gegebenen Randbedingungen Möglichkeiten gibt, unser Konzept umzusetzen – oder eben nicht. Aber meistens schaffe ich es, die Firmen zu überzeugen. Alles ist möglich!« Sagt's und lacht. ■

»Ich hatte ein fantastisches Team«, lobt Dr. Amberg-Schwab ihre Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer ISC. © Fraunhofer ISC





# Smarte Geräte – komplexe Ökobilanz

Smartphones werden durchschnittlich in Deutschland nur anderthalb bis zwei Jahre genutzt. Weniger als 50 Prozent der Geräte werden recycelt oder anderweitig weiterverwendet. © BSR

Die Ökobilanz von Smartphones, Tablets, Druckern und Co. gleicht einem Puzzle mit Tausenden von Teilen. Forschende am Fraunhofer IZM setzen es souverän zusammen.

Text: Dr. Katja Engel



Nicht erst seit »Fridays for Future« spielt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck für die Kaufentscheidung eine zunehmend wichtige Rolle. In einer statista-Umfrage von 2016 gaben 61 Prozent der befragten Konsumenten ab 45 Jahre an, dass Nachhaltigkeit ein wichtiges Kriterium ist, bei den jüngeren (18 – 24 Jahre) waren es immerhin noch 48 Prozent. Führende Unternehmen wie Apple werben daher mit guten Ökobilanzen und veröffentlichen ihre Kennzahlen in umfassenden »Environmental Responsibility Reports«. Auch in der Politik steigt die Nachfrage nach zuverlässigen Aussagen zu Lebenszyklusanalysen. Nur so lassen sich sinnvolle gesetzliche Regelungen treffen, die festlegen, welche Anforderungen an Langlebigkeit, Materialauswahl oder Reparierbarkeit gestellt werden müssen – viel zu tun für Karsten Schischke, Gruppenleiter für Umweltbewertungen und Ecodesign am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin.

»Die Ökobilanz von Elektronikgeräten ist eine besonders knifflige Angelegenheit, denn sie bestehen häufig aus bis zu 1000 Komponenten, werden in weit verzweigten Zulieferketten hergestellt und setzen sich aus unterschiedlichsten Materialien zusammen«, erklärt er. Zusammen mit seinem Team muss er das Puzzle aus Tausenden von Informationen richtig zusammensetzen, um ein möglichst

vollständiges Bild zu erhalten. Dafür verfolgen die Wissenschaftler sorgfältig jeden Schritt in der Produktionskette. Sie durchleuchten den kompletten Lebenszyklus: von der Rohstoffmine, der Produktion, dem Transport, der Nutzung durch den Kunden bis hin zu einem möglichen Recycling. Wie energieeffizient ein Gerät im Gebrauch ist oder aus welchem Material es besteht, ist dabei nur ein winziges Puzzleteil in der gesamten Bilanz.

Je mehr Puzzleteile die Forschenden kennen, desto genauer können sie Verbesserungsmöglichkeiten aufspüren. Dafür nutzen sie die gesammelten Daten und stellen gezielte Fragen: Wie kann man die Zulieferkette verbessern? Welche Technologie wird benutzt, wie und mit welchen Anlagen wird produziert? Ist ein nachhaltigerer Strommix verfügbar? Können von den Metallen nur einige wenige recycelt werden? Werden die Komponenten eingeflogen oder können sie auf dem Landweg verschickt werden?

Nicht immer sind es rein technische oder logistische Fragen, auch psychologische Aspekte spielen eine Rolle. Schischke erklärt: »Wenn ein Produkt besonders exklusiv ist, hängt man eher daran. Das kann zum Beispiel ein hochwertiges Tablet sein mit einem Gehäuse aus edlem Holz, das sein Besitzer vielleicht sogar regelmäßig mit

Olivenöl pflegt. Dieses Tablet wird sicher länger genutzt.«

**Natürliche Rohstoffe und Reparierbarkeit gleich gute Ökobilanz – so einfach ist es nicht.** So überraschte die Hersteller des Smartphones »Fairphone«, die offensiv mit der Nachhaltigkeit ihres Produktes warben, zunächst das Analyseergebnis der Fraunhofer-Forscher. Das Fairphone ist bewusst so konzipiert, dass es auch von Laien einfach repariert werden kann. Das soll eine längere Nutzungsdauer ermöglichen und so die Nachhaltigkeit erhöhen. Damit die Reparatur reibungslos klappt, sind die Steckverbindungen mit stabilen Goldkontakten versehen. Doch gerade diese überaus robusten Teile verschlechtern aufgrund des hohen Materialeinsatzes die Ökobilanz. Erst wenn die Nutzer des Fairphone tatsächlich Hand anlegen und beispielsweise fehlerhafte Teile austauschen, geht die Rechnung auf. Schischke und sein Team ermittelten, dass sich die Reparatur schon bei nur wenigen Monaten verlängerter Lebensdauer für die Umwelt rechnet. Die Hersteller des Fairphone besserten beim Folgemodell nach und fanden für die Steckverbindungen eine andere Lösung – ein gutes Beispiel dafür, wie auf der Basis von Ökobilanzen Produkte modifiziert werden können, wenn die Problemstellen im Design oder im Produktleben erkannt sind. ■

# Atmen dank Mondstaub

Aus lebensfeindlichem Mondstaub lebensspendenden Sauerstoff herstellen? Möglich machen es neuartige ROXY-Reaktoren: Sie könnten die Weltraumforschung revolutionieren – und bringen auch auf der Erde Vorteile.

Text: Dr. Janine van Ackeren



»Wir konnten Sauerstoff aus einer Probe simulierten Mondstaubs gewinnen.«

Dr. Peter Quadbeck,  
Gruppenleiter  
Fraunhofer IFAM

**B**ergbau im All? Das klingt nach Science-Fiction. Tatsächlich steht die Realisierung dieses Traums inzwischen sehr weit oben auf der Agenda von Raumfahrtprogrammen. Rohstoffe sollen nicht mehr nur aus irdischen Bergwerken und anderen erdgebundenen Ressourcen gewonnen werden, sondern aus Asteroiden im Kosmos. Von der Erde aus verschlingt jeder Raketenstart jedoch große Mengen an Energie – daher stehen stattdessen Mondbasen zur Debatte. Stellt sich die Frage: Wie lassen sich die dort stationierten Astronauten mit Sauerstoff versorgen?

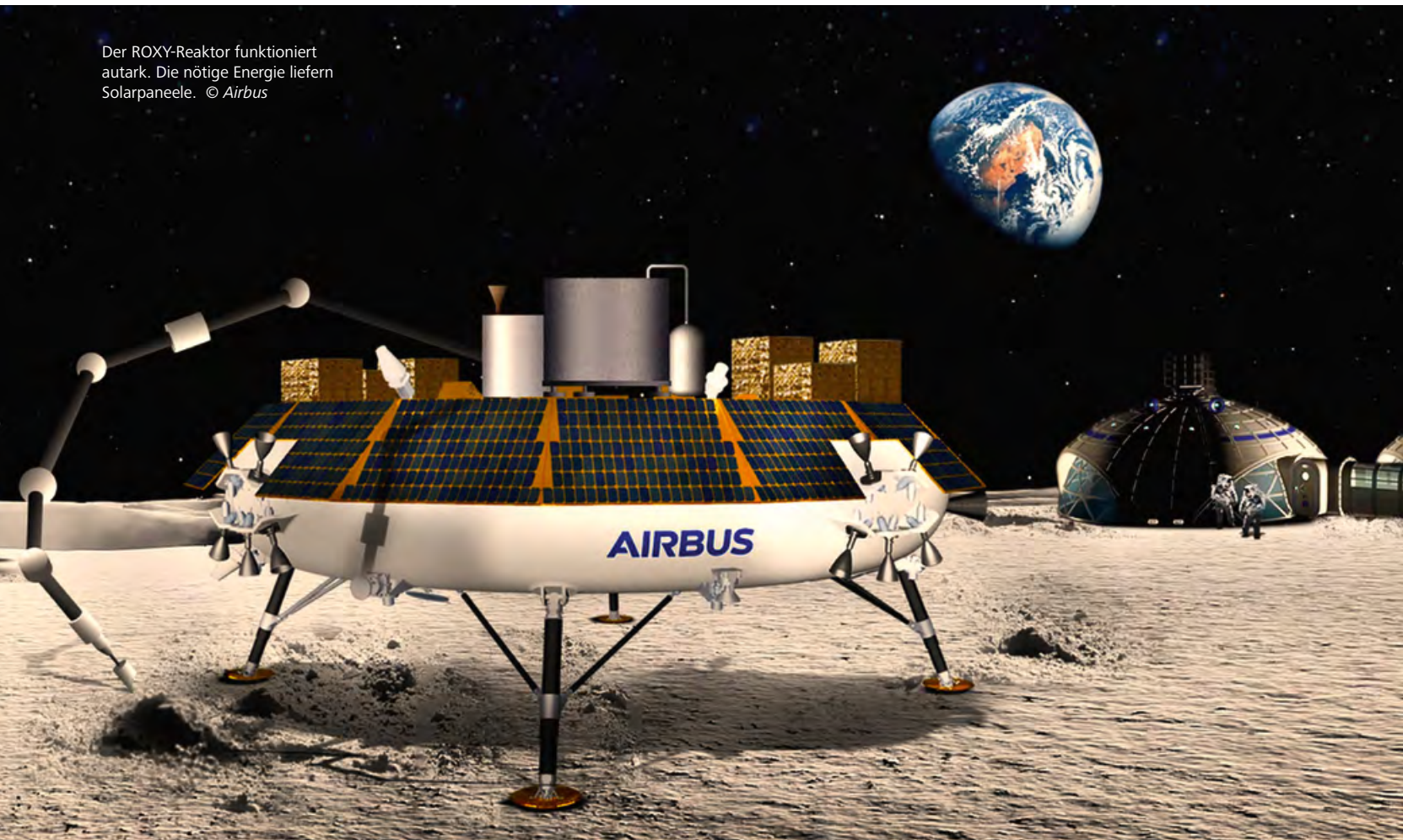
## Fraunhofer-Forschende übernehmen die experimentelle Seite

Airbus wartete mit folgender Idee auf: Warum nicht den Sauerstoff nutzen, der im Mondstaub in Form von Oxiden gebunden ist – in Siliziumoxiden, Aluminiumoxiden, Eisenoxiden, Magnesiumoxiden und weiteren Oxiden im bunten Gemisch? Die Tren-

nung von Sauerstoff und Metallen funktioniert und wird bereits vielfach genutzt: etwa in einigen Bereichen der Metallherstellung, bei der das Metall über eine elektrochemische Reaktion zwischen Anode und Kathode vom Sauerstoff befreit wird.

Zwar ist der Prozess der Elektrolyse vom Prinzip her bestens bekannt, doch wie so oft bei neuen Anwendungen lag die Herausforderung im Detail. So ist beispielsweise eine poröse Kathode nötig, um die Reaktion anzustoßen. Airbus holte daher das Dresdner Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ins Projekt. »Nicht nur unsere Expertisen im Bereich der hochporösen Metalle waren wie maßgeschneidert«, erinnert sich Dr. Peter Quadbeck, Gruppenleiter am Fraunhofer IFAM. »Wir hatten auch gerade eine Anlage zur Titanreduktion fertiggestellt, die optimal als Basis dienen konnte. Auch die thermochemische Messung von Gasen – eine weitere Kernkompetenz meiner Gruppe – kam gelegen.« Während die theoretischen

Der ROXY-Reaktor funktioniert autark. Die nötige Energie liefern Solarpaneele. © Airbus



Überlegungen durchweg im internationalen Team stattfanden, deckten die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher die gesamte experimentelle Seite ab.

**ROXY heißt der Prozess**, kurz für Regolith to OXYgen and Metals Conversion: Zwischen der hochporösen Kathode und der Anode wird Spannung angelegt, im Zwischenraum befindet sich eine Salzlösung. Gibt man nun simulierten Mondstaub – Regolith genannt – hinzu, trennt sich das Metall vom Sauerstoff: Das Metall sammelt sich an der Kathode, der Sauerstoff wird an der Anode aufgefangen. All das bei knapp tausend Grad Celsius. »Nach zweijähriger Entwicklungszeit gelang der Durchbruch während einer Reihe von Labortests am Fraunhofer IFAM: Wir konnten Sauerstoff aus einer Probe simulierten Mondstaubs gewinnen«, begeistert sich Quadbeck. Auch Jean-Marc Nasr, Leiter von Airbus Space Systems, betont die Bedeutung dieses Erfolgs: »Dieser Durchbruch ist ein gewaltiger Sprung nach vorn – er bringt uns dem ›heiligen Gral, langfristig

auf dem Mond leben zu können, näher.« Schließlich werden – abgesehen vom ROXY-Reaktor – keinerlei Verbrauchsmaterialien von der Erde benötigt. Mondstaub ist im Überfluss vorhanden, die nötige Energie liefern Solarpaneele. Und als wäre es nicht genug, auf dem Mond Sauerstoff herstellen zu können, soll der ROXY-Reaktor auch gleich noch einen weiteren »Rohstoff« liefern: Die entstehenden Metalle können als Treibstoff für die Raketen dienen, die die Asteroiden anfliegen.

**Auch auf der Erde** eröffnet das Verfahren Vorteile: So könnte es die Emissionen von Treibhausgasen, die bei der Metallproduktion entstehen, drastisch reduzieren. Denn während die derzeit verwendeten Verfahren erhebliche Mengen der umweltschädlichen Perfluorcarbone (PFCs) emittieren, arbeitet der ROXY-Reaktor im Wesentlichen emissionsfrei. Auf diese Weise könnten Weltraumtechnologien das Leben auf der Erde langfristig verbessern – nicht nur, indem sie Engpässe bei der Rohstoffproduktion weiten. ■

»Näher am Traum, langfristig auf dem Mond leben zu können.«

Jean-Marc Nasr,  
Leiter von Airbus  
Space Systems

# Neue Karriere als Medikament



Als Impfstoff gegen das Corona-Virus macht mRNA gerade Furore. Tatsächlich kann das Botenmolekül noch mehr. Es gilt als Hoffnungsträger in der Therapie von Entzündungskrankheiten oder Krebs.

Text: Christine Broll

**A**ls Dr. Holger Cynis vor vier Jahren begann, sich mit mRNA zu beschäftigen, interessierten sich nur wenige Spezialisten für dieses Forschungsfeld. Inzwischen kommt das Kürzel in jeder Nachrichtensendung vor: mRNA steht für messenger RNA oder deutsch Boten-RNA. Der Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI wollte erforschen, ob man den Körper von Patienten dazu bringen kann, seine Medikamente selbst zu produzieren. Was nach Science-Fiction klingt, hatte bereits damals eine fundierte wissenschaftliche Grundlage: Holger Cynis wollte in den Körper mittels mRNA den Bauplan für ein Medikament einschleusen. Nach diesem sollten dann die Körperzellen den gewünschten Stoff produzieren.

»Medikamente, die als Wirkstoff therapeutische Proteine und Antikörper enthalten, könnten mithilfe der mRNA-Technologie im Patienten selbst hergestellt werden«, erklärt Cynis. Dazu zählen vor allem Therapeutika gegen Blutarmut, entzündliche Erkrankungen – und Krebs. Heute werden diese Wirkstoffe in riesigen Bioreaktoren von Zellkulturen produziert. Daher sind solche Medikamente sehr teuer und für viele Menschen in ärmeren Ländern nicht zugänglich. Cynis sieht hier die mRNA-Technologie als wichtige Alternative. »Da mRNA wesentlich einfacher herzustellen ist als therapeutische Proteine, würden die Kosten für die Therapie enorm sinken«, beschreibt Holger Cynis seine Motivation. »Wir können diese hochwirksamen Medikamente Menschen in Schwellenländern und der Dritten Welt nicht länger vorenthalten.«

## Die Kunst der Verpackung

Einen kleinen Schritt in diese Richtung machte Holger Cynis mit seinem 2016 gestarteten Projekt. Der Leiter der Arbeitsgruppe Molekulare Biotechnologie an der Außenstelle Halle

des Fraunhofer IZI arbeitete dabei mit Christian Reinsch und Steffen Panzner zusammen, den Gründern des Biotech-Start-ups Lipocalyx, das ebenfalls im Technologiepark in Halle angesiedelt ist. Lipocalyx hat spezielle Polymere entwickelt, in denen die mRNA zu ihrem Wirkungsort transportiert wird. Sie scheinen so vielversprechend, dass Lipocalyx im Januar 2020 vom mRNA-Spezialisten Biontech übernommen wurde.

Die von Lipocalyx entwickelten Polymere ummanteln die mRNA und schützen sie damit auf dem Weg durch die Blutbahn vor Beschädigung und Abbau. An der Zielzelle angekommen, heftet sich das Polymer an die Membran, wird aufgenommen und entlässt später die mRNA ins Zellinnere. Da die Designer diesen Mechanismus beim Influenza-Virus abgeschaut haben, nennen sie ihr Transport-Polymer auch Viromer. »Die Verpackung der mRNA ist eine äußerst wichtige Schlüsseltechnologie für den Erfolg der gesamten Therapie«, betont Holger Cynis.

**Die Bewährungsprobe am lebenden Organismus** folgte, nachdem die Viromere im Reagenzglas gezeigt hatten, dass sie mRNA effektiv in Zellen einschleusen können. Das Forschungsteam behandelte Mäuse, die an einer Entzündung litten. Dazu verwendeten sie mRNA mit dem Bauplan für zwei entzündungshemmende Wirkstoffe, unter anderem für den biologisch aktiven Teil des Medikaments Etanercept, das zur Behandlung rheumatischer Erkrankungen eingesetzt wird.

»Die Viromere haben die mRNA vor allem an Makrophagen abgegeben, eine spezielle Art von weißen Blutkörperchen, die auch als Fresszellen bekannt sind«, berichtet Holger Cynis. Diese Makrophagen produzierten dann die entzündungshemmenden Wirkstoffe. ▶

»Wir können diese hochwirksamen Medikamente Menschen in der Dritten Welt nicht länger vorenthalten.«

Dr. Holger Cynis,  
Fraunhofer IZI

»Nach dem gleichen Muster könnten wir auch mRNA tragende Viromere zur Therapie anderer Erkrankungen konstruieren.«

Holger Cynis, Fraunhofer IZI

► Dass diese Wirkstoffe auch aktiv sind, zeigte sich am Krankheitsverlauf der Mäuse. Die Entzündungen, die man anhand verschiedener Parameter messen kann, gingen eindeutig zurück.

### Hilfe gegen rheumatoide Arthritis

Holger Cynis wertet das als großen Erfolg. Denn damit ist gezeigt, dass das Konzept im Prinzip funktioniert. In weiteren präklinischen Versuchen will das Forschungsteam Wirkstoffe gegen rheumatoide Arthritis testen und damit die Voraussetzungen für den Sprung in die Klinik schaffen. Dazu müssen zum Beispiel auch Dosisfindungsstudien gemacht werden, in denen ermittelt wird, welche Menge an mRNA welche Wirkung erzielt.

»Nach dem gleichen Muster könnten wir auch mRNA tragende Viromere zur Therapie anderer Erkrankungen konstruieren«, verdeutlicht Holger Cynis. Er hat dabei therapeutische Proteine im Blick, deren Patentschutz schon abgelaufen ist. Da der Bauplan dieser Proteine öffentlich bekannt ist, ließe sich ganz einfach eine entsprechende mRNA herstellen. Cynis ist sich sicher, dass die Zulassung des ersten mRNA-basierten Impfstoffs die Entwicklung der Technologie enorm beschleunigen wird. Nicht nur bei Impfstoffen, sondern auch bei Medikamenten. ■

Der erste mRNA-Impfstoff wird die Entwicklung beschleunigen – auch bei Medikamenten.

## Impfung gegen Krebs – die Daten sind vielversprechend

Drei Firmen gelten international als die Pioniere der mRNA-Technologie: Biontech in Mainz, Curevac in Tübingen und Moderna in Cambridge, USA. Alle drei sind angetreten, um messenger RNA als neue Wirkstoffklasse in der Medizin zu etablieren. Im Fokus hatten sie vor allem Medikamente gegen Krebs. Berühmt geworden sind die drei Unternehmen und ihre Technologie aber durch ihre Impfstoffe gegen SARS-CoV-2, mit denen sie im internationalen Rennen vorne liegen. Das macht deutlich, wie schnell mRNA-basierte Wirkstoffe entwickelt und produziert werden können.

**Ein Blick auf die Forschungspipeline** der drei Unternehmen zeigt, welche mRNA-basierten Medikamente in Zukunft auf den Markt kommen könnten. Wichtigstes Anwendungsgebiet – neben dem Corona-Impfstoff – ist die Krebsimmuntherapie, die quasi einer Impfung gegen Krebs entspricht. Geimpft wird mit mRNA für Markerproteine, die ganz spezifisch auf Krebszellen vorkommen. Durch die Impfung entwickelt der Körper eine Immunantwort gegen diese Marker und kann so die Krebszellen zerstören. Alle drei Unternehmen testen solche Impfstoffe gegen Krebs bereits in der Klinik. Biontech hat im Juli dieses Jahres vielversprechende Daten einer Phase-1-Studie mit einem mRNA-Wirkstoff gegen Hautkrebs im renommierten Fachblatt »Nature« veröffentlicht.

Biontech und Curevac entwickeln auch mRNA, die die körpereigene Produktion therapeutischer Antikörper gegen Krebs vermitteln sollen. Solche Antikörper werden heute von Zellkulturen in großen Bioreaktoren produziert und zur Therapie vieler verschiedener Tumorerkrankungen eingesetzt.

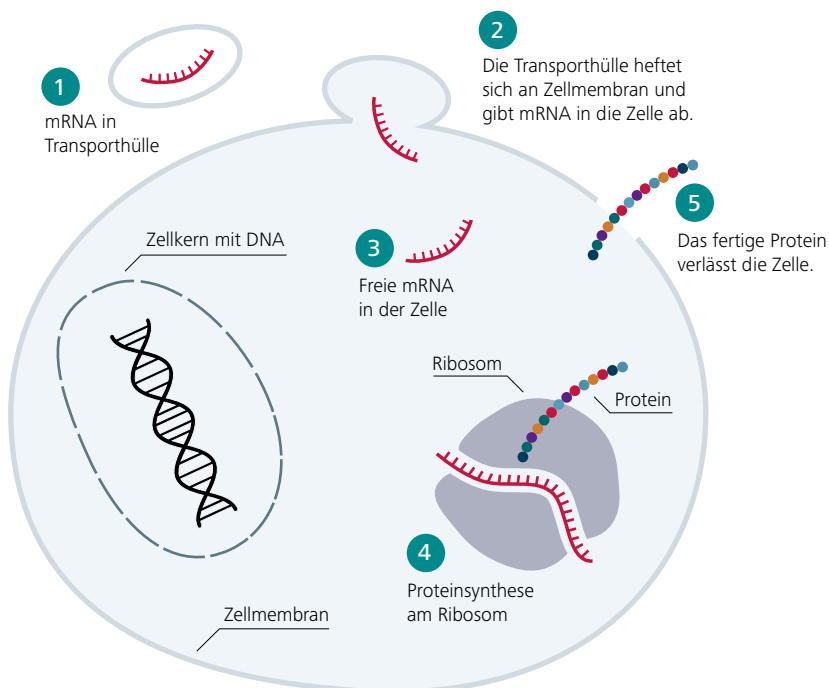
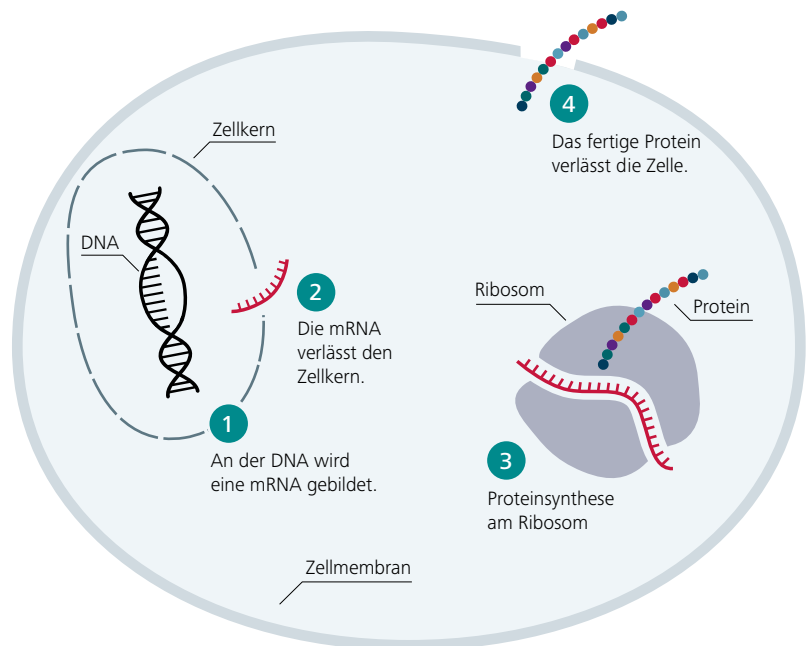
Bei der Entwicklung mRNA-basierter Impfstoffe gegen Infektionen sind vor allem Curevac und Moderna aktiv. Curevac führte 2017 die weltweit erste klinische Studie mit einem mRNA-Impfstoff gegen eine Infektionskrankheit durch – einem Impfstoff gegen Tollwut. Er wird zurzeit in klinischen Studien weiterentwickelt, genauso wie ein Impfstoff gegen Influenza. Moderna hat neben den SARS-CoV-2-Vakzinen noch fünf weitere Kandidaten in der Klinik, zum Beispiel gegen das Zika- und das Zytomegalie-Virus.

# mRNA – eine neue Klasse von Impfstoffen und Medikamenten

Mit den ersten Impfstoffen gegen SARS-CoV-2 hat messenger RNA den Durchbruch geschafft. Diese Moleküle kommen natürlicherweise in allen Zellen vor. Sie transportieren die in der DNA gespeicherte Information zu den Proteinfabriken der Zelle, den Ribosomen.

## Die Rolle der mRNA im natürlichen Zellstoffwechsel

Die DNA enthält die genetische Information zum Bau von Proteinen. Damit eine Zelle ein Protein produzieren kann, muss zuerst das entsprechende Gen von der DNA abgelesen werden. Dazu faltet sich die DNA auf. An dieser Stelle bildet sich eine mRNA als Kopie der DNA (1). Dann verlässt die mRNA den Zellkern und wandert zu den Ribosomen (2). Entsprechend dem in der mRNA gespeicherten Bauplan werden die Bausteine für die Proteine aneinandergereiht (3). Proteine bestehen aus 21 verschiedenen Aminosäure-Bausteinen. Ihre Reihenfolge ist entscheidend für die Struktur und Funktion des Proteins. Das fertige Protein verlässt dann die Zelle (4).



## Wie mRNA als medizinischer Wirkstoff agiert

Medizinisch genutzte mRNA trägt die Information für ein spezielles Protein. Sie wird im Labor hergestellt und in eine Transporthülle verpackt (1). Im einfachsten Fall ist das eine Hülle aus speziellen Fetten. Wenn die Fetthülle auf die Zellmembran trifft, verschmilzt sie mit ihr und gibt die mRNA in die Zelle ab (2). Dort wandert die mRNA zu den Ribosomen (3) und setzt die Synthese des gewünschten Proteins in Gang (4). Das fertige Protein kann die Zelle verlassen und im Körper seine medizinische Wirkung entfalten (5).

Steckt die mRNA in komplexen Hüllen, wie zum Beispiel den Viromeren, ist die Integration in die Zelle komplizierter. Die Viromere werden mitsamt der mRNA von der Zelle aufgenommen und zuerst von einem Membranbläschen (Endosom) umschlossen. In einem nächsten Schritt wird die mRNA aus dem Membranbläschen freigesetzt.

© Infografik: Zissue

# Kleiner Piks, große Wirkung

Seuchen wie Pocken, Pest und Cholera forderten weltweit Hunderte Millionen Tote. Schon früh suchten Menschen nach einem Weg, sich zu schützen – und fanden ihn. Eine Erfolgsgeschichte.

## ◎ Um 200 v.Chr.

In China und Indien wird infektiöser Pocken-Schorf geschnupft oder in die Haut geritzt, um sich durch eine moderate Infektion zu immunisieren. Diese als »Variolation« (variola lat. für Pocken) bezeichnete Technik gelangt spätestens zu Beginn des 18. Jahrhunderts nach Europa und ist vor allem in Großbritannien populär. Die Behandlung hat allerdings erhebliche Nebenwirkungen, in rund zwei Prozent aller Fälle führt sie zum Tod.

## ◎ 1874

Im neu gegründeten Deutschen Reich wird erstmals eine Impfpflicht eingeführt, um die Pocken zu bekämpfen. Die letzten großen Epidemien 1870 und 1873 haben 181 000 Todesopfer gefordert.

## ◎ 1890

Die sogenannte passive Immunisierung wird möglich. Bei ihr werden Antikörper eines Organismus auf einen anderen übertragen. Im Unterschied zur aktiven Impfung bietet die passive einen sofortigen Schutz, der jedoch nur für rund drei Monate anhält. Der Arzt Emil von Behring nutzt die passive Impfung 1890 erstmals erfolgreich als Therapie bei Diphtherie – damals die häufigste Todesursache von Kindern im Alter zwischen drei und fünf Jahren.

## ◎ 1796

Mit dem englischen Landarzt Edward Jenner beginnt das Zeitalter der modernen Impfung. Ihm fällt auf, dass Melkerinnen zwar oft an Kuhpocken erkranken, aber nur selten an Menschenpocken. Er vermutet einen Zusammenhang und überprüft seine These, indem er einen Jungen zunächst mit Kuhpocken infiziert, später mit Menschenpocken. Das Kind bleibt von der Krankheit verschont, die Pockenschutzimpfung ist erfunden. Jenner nennt sein Verfahren »Vaccination« (vacca lat. für Kuh). Dass der Grund für die Pockeninfektion Viren sind, weiß er nicht. Sie werden erst 100 Jahre später als Krankheitserreger entdeckt.



Impfgegner werfen Jenner vor, Menschen mit einem aus einer Kuh gewonnenen Serum zu verunreinigen. Der Mensch werde so zum Tier. (Radierung von James Gillray, London 1802)

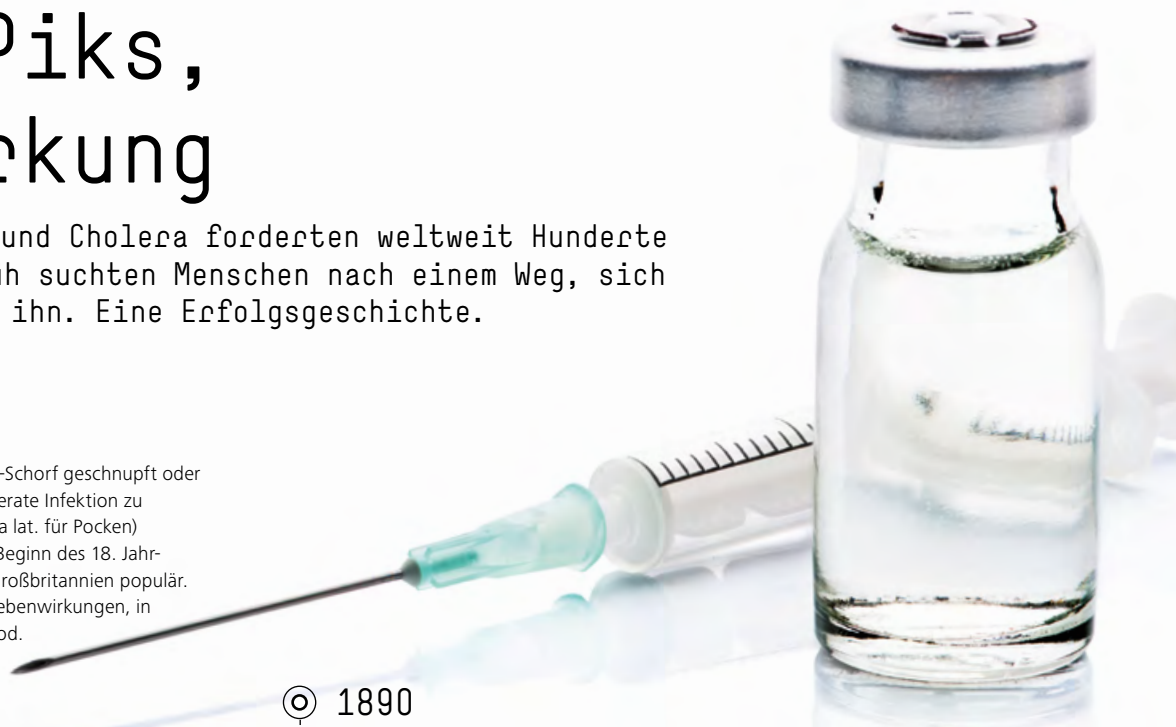


## ◎ 1881

Louis Pasteur (Bild) und Robert Koch gelingt der endgültige Beweis für die Existenz mikrobiologischer Krankheitserreger. 1876 entdeckt Koch das stäbchenförmige Milzbrand-, 1882 das Tuberkulosebakterium. Die bahnbrechenden Forschungsergebnisse liefern nicht nur eine Erklärung für den Erfolg der ersten Impfungen, sondern legen auch den Grundstein für die Entwicklung neuer Vakzine: 1881 gegen Milzbrand, 1885 gegen Tollwut.

## ◎ 1914-1918

In den ersten Monaten des Ersten Weltkrieges verursachen Tetanus-Infektionen mehr Verluste als Granaten und Gewehre. In den Schützengräben werden Wunden mit Erde verunreinigt, die mit Tetanus-Bakterien kontaminiert ist. Die Sporen des Bakteriums vermehren sich schnell. Sie sondern verschiedene Gifte ab, die zu Krampfanfällen, Herzversagen oder Tod durch Ersticken führen. Seit Oktober 1914 wird verletzten deutschen Soldaten deshalb vorbeugend ein passiver Impfstoff verabreicht – mit überwältigendem Erfolg. Das rettende Vakzin wirkt jedoch nur einige Wochen. Obwohl die Pharmaindustrie täglich literweise Serum produziert, kann sie die Nachfrage des Heeres kaum befriedigen.





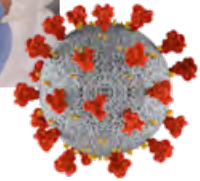
1933-1945



Viele führende Nazis wie Rudolf Heß oder Heinrich Himmler sind Anhänger der Naturheilkunde und stehen dem Impfen skeptisch gegenüber. Die Impfpflicht gegen Pocken, die seit 1874 besteht, wird gelockert. Abgeschafft wird sie nicht, weil im Hinblick auf den Krieg sichergestellt sein soll, dass die Wehrmacht immunisiert ist. Das »Dritte Reich« zieht sich aus der Herstellung von Impfstoffen zurück und überlässt diese privaten Unternehmen. Die Pharmaindustrie nutzt geschickt die damals erst aufkommende und sich professionalisierende Werbung, um die Menschen zur Impfung zu bewegen – ein Grund dafür, dass die freiwilligen Impfprogramme erfolgreicher sind als die staatliche Pflichtimpfung.

1986

Der erste gentechnisch hergestellte Impfstoff, rekombinantes HBsAg zur Impfung gegen Hepatitis B, kommt in den USA auf den Markt.



1960er-Jahre

Impfstoffe gegen Masern, Mumps und Röteln werden verfügbar. Während die BRD beim Impfen auf Freiwilligkeit setzt, gilt in der DDR Impfpflicht. Im Kalten Krieg will man die Überlegenheit des sozialistischen Gesundheitswesens demonstrieren. Unter der Losung »Der Sozialismus ist die beste Prophylaxe« bekommen Heranwachsende insgesamt 20 staatlich verordnete Schutzimpfungen. Die Krankheitszahlen sinken rapide.



2020

Neuartige mRNA-Impfstoffe sind Hoffnungsträger im Kampf gegen die Corona-Pandemie. Sie enthalten die mRNA oder Boten-Ribonukleinsäure, die den Bauplan für das virale Antigen beinhaltet. Der Körper stellt anhand dieser Anleitung das Antigen selbst her, das eine schützende Immunreaktion hervorruft.

Ende der 1970er-Jahre

Die DDR verliert beim Impfen mehr und mehr den Anschluss. Es gelingt nicht, Mehrfachimpfungen zu entwickeln, wie es die Pharmariesen im Westen vormachen. Der Impfstoff versagt immer häufiger – auch, weil die Apparaturen in der Produktion veraltet sind.

1955

In den USA wird erstmals ein Impfstoff gegen Polio (Kinderlähmung) zugelassen. 1963 folgt die Zulassung eines oralen Polio-Vakzins, das gegen alle drei Virus-Typen wirkt. Es wird schnell zum weltweiten Standard und mit einem Zuckerkwürfel verabreicht. Der einprägsame bundesdeutsche Werbeslogan für die Impfung ist heute noch vielen in Erinnerung: »Schluckimpfung ist süß, Kinderlähmung grausam«.



1967

Die Internationalisierung des Impfwesens beginnt, die WHO gewinnt an Einfluss. Seit 1967 legt sie weltweite Impfprogramme auf. Am erfolgreichsten ist bis heute das Pocken-Programm. Seit 1980 gilt die Seuche als ausgerottet.



1972

Mit dem Gesetz zur Errichtung eines Bundesamtes für Sera und Impfstoffe wird das Paul-Ehrlich-Institut (PEI) zur selbstständigen Bundesbehörde. Es überprüft die Sicherheit und Wirksamkeit von neuen Impfstoffen. Im selben Jahr nimmt auch die Ständige Impfkommission (STIKO) ihre Arbeit auf. Sie erstellt Empfehlungen zur Durchführung von Schutzimpfungen in Deutschland.



2019

Mit dem Ebola-Impfstoff wird in der EU erstmalig ein Vakzin zugelassen, das auf der innovativen Vektor-Technologie basiert: Ein für Menschen harmloses Virus wird genutzt, um die nötigen Informationen für den Aufbau von Antikörpern in den Körper einzuschleusen.

© Infografik: Zissue; Bilder: Adobe Stock, Gemeinfrei/Library of Congress, SPL, dpa, Bayer AG/Bayer Archives Leverkusen, Bundesstiftung Aufarbeitung/Harald Schmitt

# Fit für die Massenproduktion

Das Rennen um Corona-Impfstoffe läuft auf Hochtouren. Weltweit setzen Experten auf die innovative mRNA-Technologie. Fraunhofer-Forschende wollen die Massenproduktion des Hoffnungsträgers möglich machen.

Text: Dr. Sonja Endres

Ein Tropfen Hoffnung:  
Wann erreicht die Impfung  
gegen Corona die Massen?  
© dpa



»Weil der Prozess einer richtigen Infektion sehr ähnelt, löst er eine besonders gute Immunantwort aus.«

Dr. Sebastian Ulbert, Fraunhofer IZI

Wer sich für diese Saison gegen Grippe impfen lassen wollte, bekam eine Vorahnung davon, wie es sein könnte, wenn der Corona-Impfstoff da wäre: Der Andrang in Praxen und Apotheken war enorm, die Wartelisten waren lang. Und das, obwohl die Bundesregierung in diesem Pandemie-Jahr über 26 Millionen Dosen Influenza-Impfstoffe besorgt hatte – fast doppelt so viele wie in der letzten Saison. Grippe plus Corona: Dieses Risiko wollten viele vermeiden.

Das Rennen um den Corona-Impfstoff läuft auf Hochtouren. Im November haben das Mainzer Unternehmen Biontech und der US-Pharmariese Pfizer Zwischenergebnisse öffentlich gemacht, wonach ihr mRNA-Impfstoff offenbar zu mehr als 90 Prozent vor einer COVID-19-Erkrankung schützt. Wenig später meldete auch die US-amerikanische Biotech-Firma Moderna ermutigende Studiendaten: Ihr mRNA-Vakzin zeige eine Wirksamkeit von 94,5 Prozent. Als erstes Unternehmen stellte es den Antrag auf Zulassung eines Corona-Impfstoffes in der EU.

Alle Hersteller stehen vor der gleichen Herausforderung: Innerhalb kürzester Zeit müssen Hunderte Millionen Impfdosen produziert werden. Nur so ist das Virus zu stoppen. Hier sind die neuartigen mRNA-Vakzine im Vorteil. Sie könnten wesentlich schneller, einfacher und kostengünstiger hergestellt werden als herkömmliche Präparate. Experten versprechen sich außerdem eine bessere Wirksamkeit und Verträglichkeit.

**Die EU sicherte sich 300 Millionen Impfdosen** von Biontech und Pfizer, 160 Millionen von Moderna, sollten die mRNA-basierten Impfstoffe die Zulassung erhalten. Damit dann möglichst schnell möglichst viel davon zur Verfügung



Annika Brehmer, Biotechnologin am Fraunhofer IPK, bei der Arbeit mit mRNA-Molekülen. © Fraunhofer IPK/Larissa Klassen

steht, schafft das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin die Voraussetzungen für die Massenproduktion.

### Viren aus dem Hühnerei

Der Herstellungsprozess für klassische Vakzine, die virale Proteine, inaktivierte oder abgeschwächte Erreger enthalten, ist aufwendig. Viren für die Impfstoffproduktion werden meistens mithilfe von Hühnereiern gezüchtet. Lebende Krankheitserreger, sogenannte Saatviren, werden in ein befruchtetes Ei gespritzt und mehrere Wochen bebrütet. Das Virus vermehrt sich im Eiklar. Das Herstellungsverfahren dauert je nach Impfstoff bis zu einem Jahr, bei komplexen Kombipräparaten auch länger. »Im Pharma-Bereich gelten hohe Sicherheits- und Qualitätsstandards. Die Güte von natürlichen Produkten wie Hühnereiern ist jedoch schwankend, daher können nur Eier aus speziellen Farmen verwendet werden. Der Aufwand ist riesig, eine ausreichend große Menge an Eiern unter streng kontrollierten Bedingungen zu gewinnen. Daneben machen auch die spätere Aufarbeitung der Viren und die Formulierung des Impfstoffs das Verfahren zusätzlich teuer«, erklärt Annika Brehmer, Biotechnologin am Fraunhofer IPK. ▶

Schneller,  
einfacher,  
kostengünstiger  
– drei Vor-  
teile des  
mRNA-Vakzins



Impfgegner sind eine lautstarke Minderheit. Eine Befürchtung: mRNA könne ins Erbgut des Menschen eingebaut werden. »Das kann nicht passieren«, versichert Christoph Hein, Fraunhofer IPK. © EPA/Shutterstock

Das Problem: mRNA lässt sich zwar durch Synthese gut herstellen, wird aber im Körper schnell abgebaut. Um sie zu stabilisieren, arbeitet das Team des Fraunhofer IPK an einer Lipidhülle, die die Botenmoleküle ummantelt und so schützt. Nur mithilfe dieser Hülle ist es der fremden mRNA außerdem möglich, in die Zelle einzudringen und die Antigenproduktion in Gang zu bringen. »Im Groben geht es bei unserer Arbeit also darum, die mRNA so zu verpacken, dass sie im Körper auch dort ankommt, wo sie wirken kann«, sagt Brehmer.

### mRNA wird nicht ins menschliche Erbgut eingebaut

► **mRNA-Impfstoffe basieren auf der Erbinformation des Antigens**, das im Körper die Immunantwort auslöst, nicht auf inaktivierten Viren oder Teilen davon. Häufig ist das Antigen ein Oberflächenprotein des Erregers – beim SARS-CoV-2 das Spike-Protein, das dem Virus seine charakteristischen Stacheln verleiht. »Die mRNA oder Boten-Ribonukleinsäure ist ein wesentlicher Bestandteil unserer Zellen. Immer dann, wenn im Körper ein Protein produziert werden soll, kommt sie zum Einsatz. Als Bote bringt sie die Bauanleitung aus dem Zellkern zu den Proteinfabriken im umgebenden Zytoplasma, den sogenannten Ribosomen«, erklärt Dr. Sebastian Ulbert, Virologe und Leiter der Arbeitsgruppe Impfstoff-Technologien am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. Für den neuen Impfstoff machen sich Forscher diesen Mechanismus zunutze. Sie verimpfen die mRNA, die den Bauplan des Spike-Proteins enthält, und sorgen dafür, dass sie in die menschlichen Zellen zu den Ribosomen gelangt. »Der Körper stellt durch diesen Trick das Antigen selbst her. Weil der Prozess einer richtigen Infektion sehr ähnelt, löst er eine besonders gute Immunantwort aus«, so Ulbert.

Mit der Technologie könnte man auch auf neu auftretende Virusstämme schnell reagieren. »Die RNA-Sequenz lässt sich einfach verändern. Das wäre beispielsweise perfekt für die Influenza-Impfung, die man jedes Jahr aufwendig an neue Stämme und Mutationen anpassen muss.«

Die Lebensdauer des externen Botenstoffs ist trotz aller Schutzmaßnahmen kurz. Hat er die Bauanleitung für das Spike-Protein übermittelt, zerfällt er. »Eine momentan oft gehörte Befürchtung ist, die mRNA würde ins menschliche Erbgut eingebaut. Das kann jedoch nicht passieren«, betont Christoph Hein, Abteilungsleiter Mikroproduktionstechnik am Fraunhofer IPK. »Dafür müsste man sie unter anderem erst mal in DNA umwandeln und auch nicht nur ins Zellplasma, sondern in den Zellkern einbringen.«

**Die grundlegende Produktionstechnologie** für die verkapselten Botenstoffe steht bereits zur Verfügung – allerdings lassen sich damit bisher nicht die erforderlichen Mengen herstellen. Die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IPK arbeiten daran, die Prozesse für eine Massenproduktion auszulegen, sie effektiv, kontrolliert und kostengünstig zu gestalten und gleichzeitig die hohen Qualitäts- und Sicherheitsstandards in der Pharmaindustrie zu erfüllen. Neben der perfekten Formulierung für die Lipidhülle feilen sie unter anderem an Verfahren, mit denen sich diese möglichst einheitlich und effizient fertigen lässt. »Das ist eine große Herausforderung, weil die lipidumkapselten mRNA-Moleküle deutlich kleiner als ein Mikrometer sind«, erklärt Brehmer. Zu große Unterschiede in der Dicke oder Zusammensetzung der Kapsel könnten die Wirksamkeit des Vazins beeinflussen und bei der Massenproduktion große Mengen an Ausschuss erzeugen. ■

# »Wir haben viele Pferde im Rennen«

Die ganze Welt hofft auf einen Corona-Impfstoff. Werden wir damit die Pandemie überwunden haben? Dr. Sebastian Ulbert, Virologe und Leiter der Arbeitsgruppe Impfstoff-Technologien am Fraunhofer-Institut für Immunologie IZI in Leipzig, gibt Antworten.

Interview: Dr. Sonja Endres

## Normalerweise dauert die Entwicklung von Impfstoffen mehrere Jahre. Warum ging das jetzt so schnell?

Weil wir glücklicherweise nicht bei null starten mussten. Die Forscherinnen und Forscher konnten auf den Erkenntnissen und Vorarbeiten zu den bekannten Coronaviren, insbesondere SARS-CoV-1 und MERS, aufbauen. Das Antigen, das eine schützende Immunreaktion im Körper auslöst, war bereits identifiziert.

## Welche Impfstoffe sind im Rennen?

Es gab bislang elf Kandidaten in Phase drei der klinischen Studien, der letzten, entscheidenden Phase vor der Zulassung. Sie basieren auf vier unterschiedlichen Techniken. Zwei davon sind alt, zwei neu.

## Was sind die grundlegenden Unterschiede?

Beim klassischen Verfahren arbeitet man mit abgeschwächten oder abgetöteten Erregern, mit denen im Körper eine Immunantwort ausgelöst wird. So funktionieren beispielsweise Hepatitis-, Polio- oder Influenza-Impfstoffe. Die Chinesen setzen auch bei SARS-CoV-2 darauf. Ihr Totimpfstoff gehört zu denen, die in Phase drei sind. Ebenfalls etabliert sind die sogenannten Protein-Impfstoffe, die nur das Oberflächenprotein des Erregers beinhalten, das die stärkste und voraussichtlich schützende Immunreaktion hervorruft – bei SARS-CoV-2 das Spike-Protein, das dem Virus seine charakteristischen Stacheln verleiht. Relativ neu sind hingegen sogenannte Vektor-Impfstoffe, die ein für Menschen harmloses Virus nutzen, um die nötigen Informationen für den Aufbau von Antikörpern in den Körper einzuschleusen. 2019 wurde in der EU mit dem Ebola-Impfstoff erstmals ein Vakzin für den Menschen zugelassen, das auf Grundlage dieser Technologie funktioniert. Völlig neu sind mRNA-Impfstoffe. Sie enthalten die mRNA oder Boten-Ribonukleinsäure, die den Bauplan für das Spike-Protein beinhaltet. Der Körper stellt anhand dieser Anleitung das Antigen selbst her, was eine besonders gute Immunantwort erzielt.

## Welcher Kandidat ist Ihrer Meinung nach am erfolgversprechendsten?

Alle Vakzine haben in den ersten Studien Immunreaktionen hervorgerufen und meiner Meinung nach gute Chancen. Am

besten wäre es, wenn möglichst viele Impfstoffe auf Grundlage verschiedener technologischer Plattformen zugelassen würden. Dann kann man vergleichen: Was schützt am besten?

## Wie misst man das?

Die Impfstoff-Kandidaten werden an Tausenden von Probandinnen und Probanden am besten in einem Hochausbruchsetting getestet. Dann überprüft man: Wie viele haben sich in der Placebo-Gruppe angesteckt, wie viele in der, die den Impfstoff tatsächlich erhalten hat? Wenn sich zum Beispiel in der Placebo-Gruppe 100 Menschen mit dem Virus infizieren, in der geimpften Gruppe aber niemand, hieße das, dass das Vakzin hundertprozentig schützt. Die WHO definiert einen Grenzwert von 50 Prozent, dann gilt ein Impfstoff als wirksam. Biontech hat für sein mRNA-Vakzin 95 Prozent gemeldet.

## Kann man das nicht auch anhand der Antikörperwerte im Blut feststellen?

So einfach ist das leider nicht. Das Immunsystem ist komplex und Antikörper sind nur einer von vielen Indikatoren. Gerade bei respiratorischen Viren wie SARS-CoV-2 spielen auch die T-Zellen, die körperfremde Strukturen erkennen und abtöten können, eine wichtige Rolle. Aber sie lassen sich nicht so leicht nachweisen. Wie hoch der Schutz wirklich ist, erfährt man nur durch klinische Studien, die auch nach der Zulassung der Impfstoffe weiterlaufen.

## Welche Fragen müssen mithilfe der Studien noch geklärt werden?

Zum Beispiel: Wann und wie oft müssen die Impfungen aufgefrischt werden? Schützt das Vakzin auch vor einer Weitergabe des Virus? Gibt es Unterschiede in der Wirksamkeit bei bestimmten Altersgruppen? So schlagen Impfstoffe bei älteren Menschen ab 60 Jahren beispielsweise weniger gut an, weil das Immunsystem nicht mehr so effizient funktioniert. In der Kürze der Zeit kann man nicht erwarten, dass ein Präparat alle Wünsche erfüllt. Nach und nach wird man dazulernen und Verbesserungen vornehmen. Das Gute ist: Wir haben viele Pferde im Rennen, damit steigen unsere Chancen. Selbst wenn die Impfstoffe nur einen Teil der Bevölkerung schützen oder zumindest bewirken, dass Infizierte nicht mehr schwer erkranken, ist das doch schon ein Erfolg. ■

»In der Kürze der Zeit kann man nicht erwarten, dass ein Präparat alle Wünsche erfüllt.«



Dr. Sebastian Ulbert würde sich auch selbst impfen lassen. Wenn ein Impfstoff in der EU zugelassen wird, so versichert er, habe er keine Nebenwirkungen, um die man sich Sorgen machen müsse. © Fraunhofer IZI

# Papierberge schnell und zuverlässig abarbeiten

Im Krankenhaus, im Gerichtssaal oder im Unternehmen – überall entstehen Dokumente, die sortiert, ausgewertet und bearbeitet werden müssen. Fraunhofer-Forschende entwickeln Systeme, die solche Aufgaben schnell und weitgehend automatisch bewältigen. Das leisten Deep-Learning-Algorithmen – und noch mehr: Sie erkennen sogar Emotionen in Texten.

Text: Mehmet Toprak

**D**ieses Leiden ist in vielen Berufsgruppen verbreitet. Da beschäftigen sich Ärztinnen und Ärzte mit dem Verfassen von Arztbriefen oder Berichten über Diagnosen und Therapien, statt Diagnosen zu erstellen und Therapien zu erarbeiten. 10 000 Codes für Diagnosen, 5000 Codes für Behandlungen bedeuten: Papierkram statt Zeit am Patienten. An Abhilfe arbeitet das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS mit seinen Software-Lösungen zur automatisierten Dokumenten- und Textanalyse mithilfe von künstlicher Intelligenz, darunter das Texterkennungs-Tool (OCR) recognAlze sowie die NLU-Suite (Natural Language Understanding). Deren Algorithmen können die Texte, die von Ärzten oder Ärztinnen verfasst wurden, inhaltlich analysieren und dann die Codes selbstständig vergeben. Die Aufgabe ist schon allein deshalb knifflig, weil Ärzte oftmals verschiedene Begriffe und Formulierungen für dieselbe Sache verwenden. »Die Software erkennt aber auch die ganz kleinen Unterschiede zwischen Texten und kann auf dieser Basis korrekte Codes vergeben«, erklärt Sven Giesselbach, Teamleiter Natural Language Understanding.

**Die NLU-Suite arbeitet mit Deep-Learning-Modellen**, die von den Expertinnen und Experten des Fraunhofer IAIS entwickelt wurden. Hinter dem Schlagwort Deep Learning verbirgt sich ein Teilbereich des maschinellen Lernens, bei dem die Software zunächst mit großen

Datenmengen gefüttert und trainiert wird. So entstehen neuronale Netze, die das Erlernte in komplexen Entscheidungsprozessen auf neue Informationen anwenden und selbstständig dazulernen. Das Fraunhofer IAIS in Sankt Augustin bei Bonn gehört in Europa zu den ersten Adressen, wenn es darum geht, Big-Data- und Deep-Learning-Konzepte für Unternehmen nutzbar zu machen.

## ALI ist trainiert für den Praxistest

Ein lohnendes Anwendungsfeld für die Deep-Learning-Systeme des IAIS stellen auch Quartalsberichte, Jahresbilanzen und Geschäftsberichte von Unternehmen oder Finanzdienstleistern dar. In Zusammenarbeit mit einem großen Versicherungsunternehmen erprobt das IAIS-Team aktuell, wie sich das Tool Automated List Inspector (ALI) in der Praxis bewährt. Das Tool analysiert die Texte und holt die Kennzahlen heraus. Verkauf, operativer Gewinn, Eigenkapitalquote, Nettoverbindlichkeit oder Kapitalfluss. »Dann könnte das Unternehmen den Geschäftsbericht wenigstens teilweise mithilfe der Software generieren oder überprüfen lassen«, erklärt Dr. Rafet Sifa, Geschäftsfeldleiter Cognitive Business Optimization.

»Wir haben ALI im Vorfeld mit Tausenden von Geschäftsberichten und Daten von mehreren

Finanzdienstleistern gefüttert und trainiert. So konnten wir am Ende relevante Kennzahlen definieren«, berichtet Sifa. Das Tool erkennt sogar Inkonsistenzen oder Widersprüche in den Kennzahlen und könnte in solchen Fällen eine Nachprüfung der Zahlen veranlassen. »Der Job des Wirtschaftsprüfers wird damit keineswegs überflüssig«, versichert Sifa. »ALI ist einfach nur ein sehr fleißiger und sehr schneller Assistent.«

### Wütende Kunden? Besser schnell reagieren!

Codes und Zahlen, Daten und Fakten – ein weiterer Schritt erfasst die Emotion. Deep-Learning-Modelle, die Gefühle aus Texten entschlüsseln, werden zunehmend eingesetzt, um beispielsweise für den Kunden-Support von Unternehmen eingehende Mails zu analysieren und zu kanalisieren. Dabei geht es nicht nur um die reine Textanalyse oder welches Thema den Kunden interessiert. Auch Rechtschreibung und Satzbau sind interessant. Denn sie könnten Hinweise auf die Emotionen des Verfassers geben. »Wenn hier viele Wörter in durchgehender Großschreibung auftauchen oder ein Satz mit fünf Ausrufezeichen beendet wird, dann ist der Kunde höchstwahrscheinlich sauer. Die Software kann diese Nachricht mit einem Dringlichkeitshinweis versehen«, erläutert Sven Giesselbach. Und – direkt an die Beschwerdeabteilung weiterleiten. ■

### Scannen mit Deep Learning

Mit Papierdokumenten, die für die Textanalyse eingescannt werden, haben viele OCR-Programme Probleme – Seiten können vergilbt sein, rissig oder zerknittert. Zuverlässige Erkennung von Text unter erschwerten Bedingungen ist die Spezialität der Dokumentenverarbeitungs-Plattform recognaize. Hier zeigen Deep-Learning-Algorithmen, was sie können, und helfen, auch schwierige Dokumente zuverlässig zu digitalisieren. Sogar auf Fotos von Dokumenten, die mit dem Handy perspektivisch verzerrt abfotografiert wurden, wandelt die Software den Text fehlerfrei um. Die Plattform ist bereits einsatzfähig und kann auch auf dem Webserver des Unternehmens betrieben werden.

----- [www.recognize.de](http://www.recognize.de)

Bürokratie verschlingt Zeit. Im Gesundheitswesen ist es besonders schlimm. Über 54 Millionen Arbeitsstunden pro Jahr werden in Deutschland von niedergelassenen Ärzten und Psychotherapeuten für Papierkram aufgewendet, ermittelte eine Studie der Kassenärztlichen Bundesvereinigung von 2017. © istockphoto



# Zu wertvoll für den Kompost

Eine Bioraffinerie im Überseecontainer gehörte zu den drei Finalisten im Wettbewerb um den Deutschen Nachhaltigkeitspreis Forschung 2020. In der Waste-to-Resource-Unit sollen Lebensmittelabfälle automatisch in wertvolle Rohstoffe umgewandelt werden.

Text: Christine Broll

»Mit der Waste-to-Resource-Unit wollen wir Lebensmittelabfälle hygienisch aufarbeiten und daraus wertvolle Ressourcen gewinnen.«

Dr. Boje Müller,  
Fraunhofer IME



2200 Tonnen  
Lebensmittel  
verrotten allein  
in Berlin tagtäglich.  
© plainpicture/  
Oote Boe



**E**ine Million Bananenschalen. 62 Tonnen Kaffeesatz. 2200 Tonnen Lebensmittel. Das sind die Abfallmengen für Berlin – allein für die Hauptstadt, und das für jeden einzelnen Tag. Bisher enden entsorgte Lebensmittel schlicht im Müll und werden bestenfalls kompostiert. Da müsse es bessere Lösungen geben, dachten sich die Initiatoren des Deutschen Nachhaltigkeitspreises Forschung und suchten beim aktuellen Wettbewerb innovative Lösungen für die »Urbane Bioökonomie«. Ihre Vision: eine Stadt, in der organische Stoffströme intelligent geleitet und biologische Ressourcen bestmöglich genutzt werden.

**Gesucht: pffiffige Ideen.** Um diese zu entwickeln, trafen sich online 80 kluge Köpfe aus Wissenschaft, Unternehmen und Kommunen. Einer war Dr. Boje Müller, Pflanzenbiotechnologe am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Oekologie IME in Münster. »Bei dem zweitägigen Makeathon haben wir zu fünft die Idee für die Waste-to-Resource-Unit konzipiert«, berichtet Müller. »Damit wollen wir Lebensmittelabfälle hygienisch aufarbeiten und daraus wertvolle Ressourcen gewinnen. Zurzeit entwickeln wir die Idee weiter und suchen bei Industrie und Kommunen nach Interessenten für die praktische Umsetzung.«

Die Waste-to-Resource-Unit soll Lebensmittelabfälle direkt dort verarbeiten, wo sie anfallen, zum Beispiel vor Kantinen oder ähnlichen Einrichtungen. So ließen sich Transportkosten für die Entsorgung einsparen. Die geplante Einheit besteht aus einem gewöhnlichen Überseecontainer, in dem die gesamte Technik von der Reststoffvorbereitung bis zum fertigen Produkt installiert ist. Kernstück ist ein Bioreaktor, in dem Algen kultiviert werden.

## Aus den Fetten lassen sich Vitamine isolieren

Wie die Verarbeitung erfolgen soll, hat das Projektteam schon klar vor Augen. Eine Kugelmühle zerkleinert die Lebensmittelabfälle zu einem feinen Brei, ganz ähnlich wie der Stabmixer zu Hause. Danach werden die Fette abgetrennt, indem sie an spezielle Adsorber gebunden werden. Die Lösung dieser Aufgabe übernimmt Boje Müller am Fraunhofer IME, da er sich auch in seinem Job mit der Aufarbeitung von Pflanzen beschäftigt – genauer gesagt mit der Isolierung von Naturkautschuk aus den Wurzeln des russischen Löwenzahns. »Aus den abgetrennten Fetten können wir verschiedene Rohstoffe isolieren, wie zum Beispiel Vitamine«, erläutert Boje Müller, der in dem Projekt auch mit der Universität Münster zusammenarbeitet.

In der Kugelmühle wird der Lebensmittelbrei mit Enzymen versetzt, die die Kohlehydrate und Proteine in ihre Bausteine aufspalten. Jetzt müssen nur noch die Faserstoffe durch einen

Filter entfernt werden, und fertig ist die Nährlösung für die Algen. Für dieses Projekt hat Prof. Daniel Pleissner vom Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie der Leuphana Universität Lüneburg eine besondere Alge ausgewählt. Sie trägt den Namen *Galdieria sulfuraria*, gehört zu den Rotalgen und kann auch im Dunkeln wachsen – wenn man sie mit einer Nährlösung versorgt. Darüber hinaus ist diese Alge äußerst robust und in der Lage, Phycocyanin zu produzieren, einen Wirkstoff, der als entzündungshemmend und anti-allergisch gilt. Für die Verarbeitung der Algen ist Dr. Sergiy Smetana vom Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik in Quakenbrück zuständig. Um das Management der Kreislaufprozesse kümmern sich Dr. Natalie Laibach von der Universität Bonn und Dipl.-Ing. Wolf Raber von der inter 3 GmbH.

Die Waste-to-Resource-Unit könnte ein interessantes Geschäftsmodell für junge Unternehmerinnen und Unternehmer sein. Sie stellen den Container einer Kantine zur Verfügung, kümmern sich um die Wartung und verkaufen die gewonnenen Wertstoffe. »Wir haben bereits bei Lebensmittelkonzernen wie Nestlé oder Oetker nachgefragt, ob sie Interesse an der Weiterverarbeitung der in der Bioraffinerie erzeugten Stoffe haben«, berichtet Boje Müller.

**Einen Motivationsschub** bekam das bunt zusammengewürfelte Team im September, als die Expertenjury des Deutschen Nachhaltigkeitspreises ihr Projekt unter die Top 3 in die Finalrunde wählte. Jetzt galt es, ein gutes Marketing zu machen, um beim Online-Voting möglichst viele Stimmen zu holen. Denn die anderen Finalisten stellten eine ernste Konkurrenz dar. Im Projekt »loopsai« wird eine intelligente Software zur Erfassung hochkomplexer Stoffströme entwickelt, mit der sich diese Ströme zu einem geschlossenen Kreislauf vernetzen ließen. Die Projektgruppe »Urban Pergola« möchte mit vorbegrünten Pflanzennetzen Städte in einen Großstadtdschungel verwandeln. Die Netze könnten zwischen Gebäuden angebracht werden und damit die Aufheizung von Fassaden und Straßen verringern. ■

Beim Deutschen Nachhaltigkeitstag, der am 4. Dezember in Düsseldorf zum großen Teil online stattfand, machte das Projekt »loopsai« das Rennen. Auch wenn die Waste-to-Resource-Unit nicht zu den Siegern zählt, ist Boje Müller optimistisch: »Als Finalisten erhalten wir eine Förderberatung und ein professionelles Medientraining. So können wir unsere Idee erfolgreich weiterentwickeln.«

## Nachhaltige Zukunft

Der Deutsche Nachhaltigkeitspreis prämiert wegweisende Beiträge für eine nachhaltige Zukunft und zeigt an den besten Beispielen, wie ökologischer und sozialer Fortschritt schneller gelingen kann. Verliehen wird die Auszeichnung von der Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis e.V. in enger Zusammenarbeit mit der Bundesregierung. 2020 haben sich über 800 Teilnehmende an den Wettbewerben in den Kategorien Design, Architektur, Verpackung, Unternehmen, Kommunen, Start-ups und Forschung beteiligt. Damit ist der Deutsche Nachhaltigkeitspreis der umfassendste Preis seiner Art in Europa.

# Wie lässt sich die Jugend verlängern?

Fraunhofer-Forschende in Hamburg haben einen Test entwickelt, bei dem jeder sein biologisches Alter von zu Hause aus bestimmen kann. Jetzt wird nach Möglichkeiten gesucht, den biologischen Alterungsprozess zu verlangsamen.

Text: Christine Broll

130 Gene zeigen, wie es um das Altern des Individuums steht.

Als Forscher, der an der Suche nach Therapien gegen Krebs und anderen Erkrankungen beteiligt ist, sagt Dr. Sheraz Gul zunächst den schlichten Satz: »Vorbeugen ist besser als heilen.« Aber selbst wer auf sein Gewicht achtet und auf die Ernährung, der weiß: Mit zunehmendem Alter steigt das Risiko für viele Erkrankungen. Welche Veränderungen dabei auf zellulärer Ebene im Körper ablaufen, ist Gegenstand intensiver Forschung – auch der Arbeit von Sheraz Gul. Er sucht am Fraunhofer IME in Hamburg, von Januar an Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP, nach Substanzen, die diesen Alterungsprozess beeinflussen.

Gemeinsam mit dem Hamburger Unternehmen Cerascreen GmbH hat Guls Team einen Test entwickelt, der das biologische Alter bestimmt – anhand einer Speichelprobe, die zu Hause entnommen und zur Analyse geschickt wird. So kann man einfach erfahren, ob das biologische Alter den Daten im Personalausweis entspricht.



Die großen Schritte im Lebenszyklus sind offensichtlich. Doch dazwischen bleiben viele Abweichungen.  
© istockphoto



**Lebensstil und Umweltfaktoren** haben einen großen Einfluss auf epigenetische Veränderungen. »Die in der DNA kodierte genetische Information ist während des gesamten Lebens nahezu konstant«, erklärt Sheraz Gul. Aber je älter man wird, desto häufiger binden sich kleine Moleküle an die DNA – Methylgruppen, die aus einem Kohlenstoffatom und drei Wasserstoffatomen bestehen. Diesen Vorgang bezeichnen die Altersforscher als epigenetische Veränderung. Die Methylgruppen haben einen direkten Einfluss darauf, ob spezifische Gene abgelesen werden. Der Grad der Methylierung korreliert mit dem Alter und wird durch Ernährung und viele Umweltfaktoren beeinflusst.

Die Datenmengen, mit denen Epigenetiker wie Sheraz Gul arbeiten, sind riesig. Bei seinen Untersuchungen hat er mehr als 800 000 Methylierungsstellen im menschlichen Genom analysiert. »Wir haben Algorithmen zur Analyse dieser riesigen Datenmenge entwickelt und 130 Gene identifiziert, deren Methylierung stark mit dem Altern zusammenhängt«, sagt Sheraz Gul. Diese Gene werden bei dem Cerascreen Genetic Age Test untersucht. Der Test kam Ende 2018 auf den Markt. Die Sequenzierung der eingesandten Proben findet an der Universität Kiel statt, die Auswertung der Daten erfolgt mit dem von Fraunhofer entwickelten Algorithmus. Zurzeit entwickelt Guls Arbeitsgruppe ein Online-Tool, mit dem die Kunden herausfinden können, welche Gene eine abnormale Methylierung aufweisen.

## Kann man den Alterungsprozess stoppen?

Seit man weiß, dass der Alterungsprozess mit epigenetischen Veränderungen einhergeht, stellt sich die Frage: Kann dieser Prozess gestoppt oder rückgängig gemacht werden? Ist es möglich, die Methylierungen aus der DNA zu entfernen? Sheraz Gul beantwortet diese Frage mit einem eindeutigen Ja. Eine Möglichkeit ist Fasten. Studien haben gezeigt, dass eine Kalorienreduzierung die Lebensdauer verlängert und die Anfälligkeit für verschiedene Krankheiten, insbesondere für Krebs, reduziert.

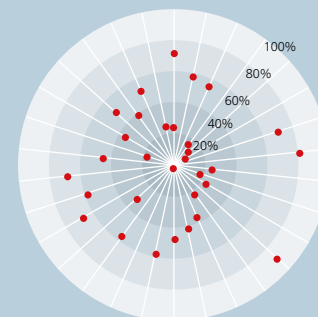
**Die 130 Gene**, deren Methylierung mit dem Alter korreliert, sind jetzt Gegenstand der Forschungen am ITMP. Gul analysiert, welche Proteine durch diese Gene codiert werden. Dann sucht er nach Substanzen, die einen Einfluss auf diese Proteine haben und damit den Alterungsprozess beeinflussen könnten. Einige Substanzen, die das epigenetische Profil verändern, sind bereits bekannt. Etwa das Resveratrol, das zum Beispiel in Traubenschalen und damit auch in Rotwein vorkommt. Das Team entwickelt nun Testsysteme, um neue Substanzen zu identifizieren, die das Potenzial für ein Anti-Aging-Mittel haben. ■

## Der Gen-Radar



© istockphoto

### Gen-Radar



### Genetisches Alter

9

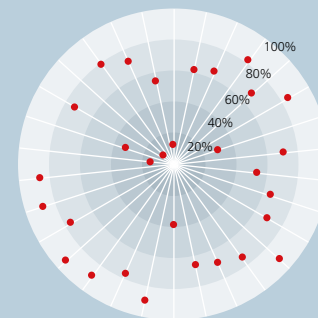
Jahre

1

Jahr  
Differenz

verglichen mit einem  
kalendarischen Alter  
von 8 Jahren

### Gen-Radar



### Genetisches Alter

78

Jahre

2

Jahre  
Differenz

verglichen mit einem  
kalendarischen Alter  
von 76 Jahren

Das biologische Alter lässt sich in einem Gen-Radar veranschaulichen. Bei der Auswertung des Cerascreen-Gen-tests wird die Methylierung von 30 Genen dargestellt. Jedem Gen entspricht ein roter Punkt. Die Lage des roten Punktes zeigt, zu welchem Prozentsatz das entsprechende Gen methyliert ist. Je weiter außen der Punkt liegt, umso stärker ist die Methylierung. Bei einem achtjährigen Kind liegen die Punkte wesentlich näher am Zentrum als bei einer 76-jährigen Person. © Fraunhofer FIT

# Sichere Heilung nach der Hüftgelenks-OP

Hoffnung für Menschen, die ein Implantat bekommen: Forschende der Fraunhofer-Gesellschaft haben Konzepte entwickelt, um die gefürchteten Infektionen nach dem Einsetzen einer Hüftgelenksprothese oder eines anderen Implantats zu verhindern.

Text: Mehmet Toprak

**N**irgendwo auf der Welt werden so viele Hüften operiert wie in Deutschland. 309 Implantationen künstlicher Hüftgelenke pro 100 000 Einwohner weist die Statistik allein fürs Jahr 2017 aus. Bei ein bis zwei Prozent der Operierten treten Komplikationen auf. Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS arbeiten daran, dieses Risiko nach der Operation zu minimieren und damit die Heilung zu unterstützen. Die Institute versuchen, auf verschiedenen Wegen zum selben Ziel zu kommen. Das Fraunhofer IKTS setzt darauf, Metall durch Keramik zu ersetzen. Das Fraunhofer IFAM arbeitet an einer hybriden Beschichtung.

»Die Kombinationsbeschichtung ist der Clou des BMBF-Projekts AntiSelektInfekt. Das Implantat kann direkt vor der Operation mit einem Antibiotikum beladen werden, welches individuell auf den Patienten abgestimmt ist. Dies, in Kombination mit den antimikrobiellen Eigenschaften von Silber, ermöglicht ein risikoarmes Einwachsen des Implantats.«, erklärt Kai Borchering, Geschäftsfeldleiter Medizintechnik und Life Sciences am Fraunhofer IFAM. Realisiert wurde das Projekt gemeinsam mit Forschern des Julius-Wolff-Instituts und des BIH Centrums für Regenerative Therapien (BCRT) der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

»Vor allem bei Risiko-Patientinnen und -Patienten sind Technologien sinnvoll, die zusätzlich zur medizinischen Vorsorge in der Klinik eine lokale Gabe von antibakteriellen Wirkstoffen ermöglichen«, erläutert Prof. Gerhard Schmidmaier zur Grundidee des Projekts. Der international anerkannte Experte im Bereich der Unfallchirurgie mit besonderem Fokus auf Knocheninfektionen und Heilungsstörungen war bei AntiSelektInfekt als Projektmentor eingebunden.

**Damit die antibakteriellen Wirkstoffe** ihre lokale Wirkung entfalten können, muss das Implantat vorbehandelt werden. Das IFAM-Team nutzt einen Laser, der die Oberfläche des Implantats, beispielsweise den Hüftschaft aus Titan, mit einer porösen Struktur versieht. Dabei entstehen winzige, für das Auge unsichtbare Vertiefungen. Anschließend wird eine Beschichtung mit Silberpartikeln aufgebracht.

Das Fraunhofer IFAM nutzt hier seine langjährigen Erfahrungen bei der Behandlung und Beschichtung von Oberflächen. Im Krankenhaus folgt der zweite Schritt. Im Operationssaal, also unmittelbar vor dem Einsetzen, wird das Implantat in eine Antibiotika-Lösung getaucht. Das Antibiotikum kann so auf Allergien oder individuelle Bedürfnisse des Patienten abgestimmt werden.



Ein Laser versieht die Oberfläche des Implantats mit einer porösen Struktur. Darauf können Silberpartikel aufgebracht werden.  
© Fraunhofer IFAM

»Die Kombinationsbeschichtung ist der Clou.«

Kai Borchering,  
Fraunhofer IFAM



309  
Implantationen

/

100 000  
Einwohner in  
Deutschland

»Sofort nach dem Einsetzen des Implantats gelangt das Antibiotikum ins umliegende Gewebe und tötet Keime ab«, erklärt Prof. Britt Wildemann. Sie leitete im Projekt die Studien zur Wirksamkeit und Biokompatibilität an der Berliner Charité. Das Silber hingegen tritt wesentlich langsamer aus. Es bleibt über Tage und Wochen aktiv und unterstützt so den Heilungsprozess.

Die Tests belegen, dass das Konzept der hybriden Beschichtung ausgezeichnet funktioniert. Wildemann sagt: »Die präklinischen Tests haben uns gezeigt, dass die Kombinationsbeschichtung das Einwachsen begünstigt und Infektionen deutlich reduziert.« Mehrere Unternehmen haben bereits ihr Interesse signalisiert. Diese könnten entweder als Dienstleister die Vorbehandlung und Beschichtung durchführen oder direkt als Hersteller des Implantats den ganzen Prozess übernehmen.

### Ein zweiter Weg zum selben Ziel

Ebenso vielversprechend wie die Arbeiten am IFAM ist das Verbundprojekt des Fraunhofer IKTS, CERAMIC Bonepreserver. Der Name verrät schon das Wesentliche: Keramik statt Metall. Denn bei Implantaten aus Metall wie Cobalt-Chrom-Molybdän entwickeln sich häufig Reizzu-

stände oder Allergien, bei Medizinerinnen auch als Metallose bekannt. Keramik ist hier wesentlich verträglicher.

Projektpartner war der Medizintechnikhersteller Mathys Orthopädie GmbH. Das Projekt fokussiert dabei auf die Hüftpartie. Die Forschenden haben hierfür die Hüftpfanne und ihr Gegenstück, die sogenannte Femurkappe hergestellt. Bei der Operation wird die Hüftpfanne im Hüftknochen, die Femurkappe, im Oberschenkelknochen versenkt. Die Seiten, die sich berühren, sind vollkommen glatt, die anderen Partien dagegen aufgeraut. So können die Knochenzellen besser anwachsen.

Das Fraunhofer IKTS beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Keramik und verfügt über viel Expertise bei Formgebungsverfahren in der Medizintechnik. Für die Oberflächenersatzprothese nutzen die Forschenden eine fein gemahlene ATZ-Dispersionskeramik (Alumina Toughened Zirconia). Diese bildet die Grundlage für die hochreine Dispersion, aus der wiederum Femurkappe und Hüftpfanne im Schlickerguss-Verfahren geformt werden. Das Fraunhofer IKTS hat dieses aus der traditionellen Porzellanherstellung bekannte Verfahren weiterentwickelt. Entscheidend für die Qualität des Endprodukts ist, dass die Partikel vollkommen gleichmäßig verteilt sind. »Wir

arbeiten mit Korngrößen zwischen 310 und 320 Nanometern. In der Dispersion dürfen keinerlei Poren oder Verunreinigungen entstehen«, sagt die Projektleiterin Martina Johannes.

### Auch Keramik ist stabil

Befürchtungen, das keramische Material könnte leichter brechen als ein Implantat aus Metall, erwiesen sich als unbegründet. »Unsere Biege-, Druck- und Belastungstests haben ergeben, dass die Keramik-Prothesen mindestens genauso stabil und belastbar sind wie ihre Pendanten aus Metall«, sagt Johannes. Das Projekt ist inzwischen abgeschlossen. Bis zur endgültigen Zulassung für den medizinischen Einsatz wird allerdings noch einige Zeit vergehen.

Das IKTS hat derweil schon das nächste medizinische Vorhaben ins Visier genommen. Im Projekt Finger-KIT geht es um die »Remobilisierung von Fingergelenken durch KI-basierte Rekonstruktion und Generierung patientenindividueller Keramikimplantate«. Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute IAPT, IKTS, ITEM, IWM und MEVIS. Ziel ist es, eine durchgängige automatisierbare Prozesskette aufzubauen, die von Design und Herstellung der Implantate über die Fertigung bis hin zur zertifizierungskonformen Prüfung reicht. ■

# Sie legten den Grundstein für Innovationen der Zukunft

Mit dem Deutschen Zukunftspreis ehrt der Bundespräsident Technik und Innovation, deren Anwendungsmöglichkeit gesichert ist. Zum neunten Mal ist Fraunhofer unter den Preisträgern.

Text: Josef Oskar Seitz



## Der Deutsche Zukunftspreis – die Fraunhofer-Preisträgerinnen und -Preisträger

Der Deutsche Zukunftspreis, zum 24. Mal vergeben für Technik und Innovation.

### »MP3-Komprimierung von Audiosignalen in Hifi-Qualität für Internet und Rundfunk«

Karlheinz Brandenburg (Sprecher), Bernhard Grill, Harald Popp, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen

### »Labor auf dem Chip – Elektrische Biochiptechnologie«

Rainer Hintsche (Sprecher), Walter Gumbrecht, Roland Thewes, Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT, Itzehoe, Siemens AG, Power & Sensor Systems, Corporate Technology, Erlangen, Infineon, München

### »Licht aus Kristallen – Leuchtdioden erobern unseren Alltag«

Klaus Streubel (Sprecher), Stefan Illek, Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg, Andreas Bräuer, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena

### »Vorbild Elefantenrüssel – ein Hightech-Helfer für Industrie und Haushalt«

Peter Post (Sprecher), Markus Fischer, Andrzej Grzesiak, Festo AG & Co. KG., Esslingen am Neckar, Fraunhofer-Institut für Automatisierung und Produktionstechnik IPA, Stuttgart

2000

2004

2007

2010

Das Gewinner-Trio (v.l.): Dr. Sergiy Yulin, Fraunhofer IOF, Dr. Peter Kürz, ZEISS, und Dr. Michael Kösters, TRUMPF.  
© alle Fotos: Deutscher Zukunftspreis/Ansgar Pudenz

**F**orschung extrem« hatte dieses Magazin im Oktober sein Porträt des Fraunhofer-Forschers Dr. Sergiy Yulin übertitelt. Freude extrem konnten am 25. November Fernsehzuschauer im ZDF beobachten. Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier überreichte vor laufenden Kameras den mit 250 000 Euro dotierten Deutschen Zukunftspreis an den Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena und seine Forscher-Kollegen Dr. Peter Kürz von ZEISS und Dr. Michael Kösters von TRUMPF.

**Es ist das neunte Mal** (s. unten), dass Fraunhofer-Forschende diesen einzigen Preis des Bundespräsidenten gewinnen konnten – angefangen im Jahr 2000, als Karlheinz Brandenburg, Bernhard Grill und Harald Popp den Deutschen Zukunftspreis für ihre »MP3-Komprimierung von Audiosignalen in HiFi-Qualität« erhielten. Bei der 24. Preisverleihung wird wieder eine Technologie gewürdigt, die das Zeug hat, den Alltag der Menschen grundlegend zu verändern – und zu verbessern. Das prämierte Verfahren zur Chipfertigung wird Mikrochips kleiner machen und leistungsfähiger, energiesparender und günstiger in den Herstellungskosten. Das Potenzial beschrieb Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer in seiner Gratulation deutlich: »Sie haben mit der EUV-Lithographie eine Technologie entwickelt, die weltweit für einen Digitalisierungsschub sorgen wird und damit auch den Grundstein für weitere Innovationen legt.« Die ersten Smartphones mit EUV-lithographisch hergestellten Mikrochips sind seit 2019 auf dem Markt.

**Das Forschungsergebnis ist winzig**, der Aufwand gigantisch. Die optische Lithographie, seit mehr als 40 Jahren Schlüsseltechnologie für die Fertigung von Mikrochips, stößt immer mehr an ihre Grenzen. Mit der EUV-Lithographie öffnen Fraunhofer, ZEISS und TRUMPF das Tor zur Zukunft wieder weit – hin zu neuen Möglichkeiten der Digitalisierung, zu künstlicher Intelligenz, autonomem Fahren und Industrie 4.0. Heute lassen sich auf einem Chip, klein wie ein Fingernagel,

mehr als zehn Milliarden Transistoren unterbringen. Dafür überwinden die Forschenden die Grenzen des bisher Machbaren. Erst eine Reihe von Rekorde brachte den Durchbruch zur Serienreife für die EUV-Lithographie. Der weltstärkste gepulste Industrielaser, entwickelt von der TRUMPF AG, entzündet – um das extrem ultraviolette Licht zu erzeugen – pro Sekunde in einer Plasmaquelle 50 000 Zinntröpfchen auf 220 000 Grad Celsius: 40 Mal heißer als die Sonnenoberfläche. Die Strahlung lenken hochpräzise Kollektorspiegel und Projektionsoptiken, hergestellt bei der ZEISS AG, auf die Lithographie-Masken.

**Die atomare Präzision** und den hohen Reflexionsgrad der Spiegel ermöglicht die Beschichtungstechnologie von Fraunhofer-Forscher Yulin. »Wir bringen«, erklärt er, »in unserer Beschichtungsanlage 100 Nanoschichten, die exakt die gleiche Dicke haben müssen, auf ein Spiegelsubstrat auf.« Erst ein Vergleich gibt eine Ahnung von der Präzision: Würde man diesen Spiegel auf die Größe Deutschlands ausbreiten, läge die größte Unebenheit bei 0,1 Millimeter. Neben dem Fraunhofer IOF in Jena forschen seit vielen Jahren auch das Fraunhofer IWS in Dresden und das Fraunhofer ILT in Aachen an Beschichtungen und EUV-Strahlenquellen.

Die perfekte Schichtzusammensetzung für Spiegeloptiken ist das Lebensthema des Sergiy Yulin. Sein Weg zur EUV-Lithographie und damit jetzt zum Deutschen Zukunftspreis begann für ihn 1988, während des Studiums in seiner Heimat, der Ukraine. Schon seine Diplomarbeit schrieb er zum Thema. »30 Jahre Forschung sind für eine Technologie dieser Komplexität gar nicht so ungewöhnlich«, winkt er ab. Und er fügt hinzu: »Was mich an der Arbeit mit extrem kurzen Wellenlängen immer fasziniert hat, ist ihr riesiges Anwendungspotenzial. Das muss man einfach nutzen.« Wie formulierte es Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier am Abend der Preisverleihung: »Es sind herausragende Menschen, die aus ihren Ideen Projekte, aus Projekten Produkte geformt haben.« ■



»Es sind herausragende Menschen, die aus ihren Ideen Projekte, aus Projekten Produkte geformt haben.«

Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier

»30 Jahre Forschung sind für eine Technologie dieser Komplexität gar nicht so ungewöhnlich«, sagt Dr. Sergiy Yulin, Fraunhofer IOF.

2011  
»Organische Elektronik – mehr Licht und Energie aus hauchdünnen Molekülschichten«  
Karl Leo (Sprecher), Jan Blochwitz-Nimoth, Martin Pfeiffer, Technische Universität/Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Dresden, NovaLED AG, Dresden, Heliatek GmbH, Dresden

2012  
»Binaurale Hörgeräte – räumliches Hören für alle«  
Birger Kollmeier (Sprecher), Volker Hohmann, Torsten Niederdränk, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg/ Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Ilmenau, Siemens AG, München

2013  
»Ultrakurzpulslaser für die industrielle Massenfertigung – produzieren mit Lichtblitzen«  
Jens König (Sprecher, Bosch), Stefan Nolte, Dirk Sutter, Robert Bosch GmbH mit dem Entwicklungszentrum Schwieberdingen, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena, TRUMPF Laser GmbH + Co. KG, Schramberg

2014  
»Lebensmittelzutaten aus Lupinen – Beitrag zu ausgewogener Ernährung und verbesserter Proteinversorgung«  
Stephanie Mittermaier (Sprecherin), Peter Eisner und Katrin Petersen (ProLupin GmbH, Grimmen) und Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising

2020  
»EUV-Lithographie – neues Licht für das digitale Zeitalter«  
Dr. Peter Kürz (Sprecher), Dr. Michael Kösters, Dr. Sergiy Yulin, Carl Zeiss SMT GmbH, Oberkochen, TRUMPF Lasersystems for Semiconductors Manufacturing GmbH, Ditzingen, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena



# Logistik in Rekordgeschwindigkeit

Coronaboom im Versandhandel, Weihnachtsboom im Paketgeschäft: Mit seinem LoadRunner entwickelt das Fraunhofer IML eine neue Generation fahrerloser Transportfahrzeuge – mit High-Speed und Schwarmintelligenz für enorme Sortierleistungen.

Text: Jacob Schmette

Im ersten Halbjahr 2020 wurden täglich gut 800 000 Sendungen mehr als 2019 transportiert. Das ermittelte der Bundesverband Paket und Expresslogistik e.V. Fürs gesamte Jahr 2020 erwartet er mehr als 3,9 Milliarden Sendungen – mit einem neuen Paketrekord zu Weihnachten.

**D**ie Vorweihnachtszeit ist für Online-Händler die umsatzstärkste Zeit des Jahres. Nicht zuletzt bedingt durch die Corona-Krise werden im diesjährigen Weihnachtsgeschäft neue Rekorde in Sachen Online-Bestellungen erwartet. Um großen Menschenansammlungen im stationären Handel zu entgehen und

die Gefahr einer Ansteckung zu minimieren, kaufen viele Verbraucher ihre Geschenke im Netz. Laut dem Bundesverband Paket und Expresslogistik (BIEK) werden im November und Dezember 420 Millionen Pakete im B2C-Geschäft zugestellt und damit 60 Millionen mehr als im Vorjahreszeitraum.







Um die Paketmassen zu bewältigen, wird in Zukunft der LoadRunner eine große Hilfe für die Händler darstellen. Das fahrerlose Transportfahrzeug wurde vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML entwickelt und kann in einer Geschwindigkeit von bis zu zehn Metern pro Sekunde Objekte sortieren und von A nach B befördern. ►

Faszination  
Schwarmintelligenz.  
© Daniel Biber

© Fraunhofer IML



Der LoadRunner ist ein »zentraler Mosaikstein für die Logistik von morgen«.

Prof. Michael ten Hompel

► »Die Fahrzeuge verfügen über die Beschleunigung eines Sportwagens und dringen in eine ganz neue Leistungsklasse vor«, betont Prof. Michael ten Hompel, geschäftsführender Institutsleiter des Fraunhofer IML. Für ihn ist der LoadRunner ein »zentraler Mosaikstein für die Logistik von morgen«.

## Organisation im Schwarm

Der Transportroboter arbeitet in einem Schwarmsystem. Grundlage hierfür war ein Drohnenschwarm, den die Forschenden des Fraunhofer IML zuvor entwickelt hatten. Dabei imitieren 20 Drohnen das Verhalten eines Vogelschwarms. Die einzelnen Drohnen orientieren sich am Verhalten ihrer Nachbarn und passen ihre Flugrichtung und Geschwindigkeit laufend an. Kollisionen werden vermieden, Gruppen gebildet und aus den Wechselwirkungen der individuellen Entscheidungen entsteht eine Schwarmintelligenz, die keine zentrale Koordination benötigt. Das Schwarmsystem der LoadRunner nutzt, wie die Drohnen, Verfahren simulationsbasierter künstlicher Intelligenz.

»Der LoadRunner ist mit einem omnidirektionalen Fahrwerk ausgestattet, Fahrt- und Drehrichtung sind komplett unab-

hängig voneinander. Somit kann sich das neue Transportfahrzeug auch während der Fahrt in jede beliebige Richtung drehen, ohne rangieren zu müssen«, erklärt Moritz Roidl vom Fraunhofer IML. »Die Roboter orientieren sich mithilfe einer Bodenkamera an Bord. Diese Kamera erstellt 400 Bilder pro Sekunde vom zuvor eingelesenen Untergrund. Dadurch kann sich das Fahrzeug auch bei hoher Geschwindigkeit in engen Formationsfahrten genau lokalisieren.«

Als einzelnes Fahrzeug ist der LoadRunner in der Lage, Pakete bis zu einem Gewicht von 30 Kilogramm zu transportieren und zu sortieren. Ideal also für Gepäckstücke an Flughäfen. Bei schwereren Objekten arbeiten die KI-Flitzer im Verbund und ermöglichen dadurch auch den Transport von großen und sperrigen Objekten. Dabei kann jeder LoadRunner zusätzlich bis zu vier passive Anhänger ankoppeln. Betrieben wird der LoadRunner durch einen Elektromotor. Um die transportierte Last abzugeben, bremst der LoadRunner kurz vor dem Ziel im richtigen Moment ab und stößt kontrolliert gegen die Endstation. Dadurch rutscht das gelieferte Objekt vom Roboter auf die Abgabefläche.

## 13 000 Sendungen pro Stunde

Das Fraunhofer IML führte eine Untersuchung zum Einsatz des LoadRunners für die Paketsortierung durch. Und diese liefert die ersten vielversprechenden Ergebnisse: Mit etwa 60 Fahrzeugen lassen sich 13 000 Sendungen pro Stunde abarbeiten. Damit erreichen 60 LoadRunner bereits Leistungsbereiche von klassischen Sortiersystemen. Der große Vorteil des neuartigen Transportfahrzeugs besteht darin, dass es im Gegensatz zu den konventionellen Sortiersystemen wesentlich weniger fest installierte Infrastruktur benötigt. Der LoadRunner bietet eine deutlich schnellere Inbetriebnahme und eine höhere Skalierbarkeit.

## Selbstständige Bearbeitung der Aufträge

Dank künstlicher Intelligenz kann der LoadRunner selbstständig Aufträge annehmen und abarbeiten. Auch deshalb ist das Fahrzeug eine Revolution für die Logistik. Die LoadRunner sollen in Zukunft über 5G sicher kommunizieren und mittels Blockchain eigenständig Pay-per-Use-Verträge abschließen. Am Fraunhofer IML wird das Transportfahrzeug aktuell weiterentwickelt. Derzeit arbeitet man an der Umsetzung eines Outdoor-LoadRunners. »Durch die 5G-Technologie kann das Fahrzeug im Prinzip ebenso im Außenbereich eingesetzt werden. Auf technologischer Basis des Indoor-LoadRunners könnte sich der Outdoor-LoadRunner per Mobilfunk beispielsweise auf einem Firmengelände zwischen den Lagerhallen bewegen«, erklärt Moritz Roidl. Somit ist der Transportroboter in Zukunft noch flexibler einsetzbar und die regelmäßig überstrapazierte Logistikbranche kann sich auf eine große Entlastung durch die KI-Flitzer freuen. ■

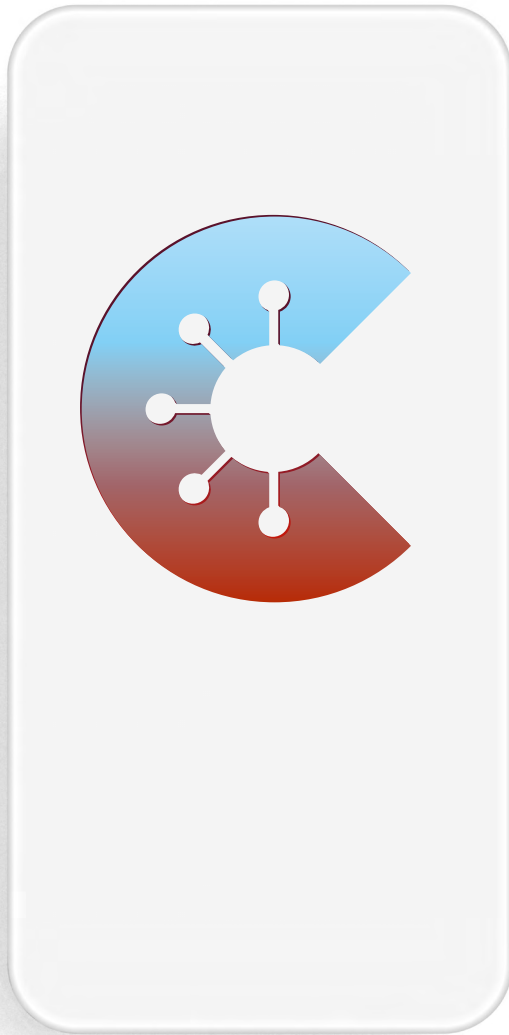


LoadRunner-Schwarm in der Startformation  
© Fraunhofer IML

## Einsatz in Silicon Economy

Um das Potenzial der LoadRunner-Technologie voll auszuschöpfen, ist eine offene digitale Infrastruktur wie die Silicon Economy nötig. In der Silicon Economy, der digitalen Plattformökonomie der Zukunft, werden sich Fahrzeugschwärme selbst organisieren und mit Menschen, anderen Schwärmen und Plattformen kommunizieren, um ihre Mission zu erfüllen. Mit dem Forschungsprojekt »Silicon Economy Logistics Ecosystem (SELE)« will das Fraunhofer IML als Gegenentwurf zum Silicon Valley einer dezentralen und offenen Plattformökonomie in Deutschland und Europa zum Durchbruch verhelfen. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) fördert das Projekt über einen Zeitraum von drei Jahren mit insgesamt rund 25 Millionen Euro. Projektpartner sind neben dem Fraunhofer IML auch das Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST sowie die Technische Universität Dortmund. Der LoadRunner soll in Zukunft eine zentrale Rolle in der Silicon Economy spielen und ein neues Zeitalter in der Logistik einläuten.

#WeKnowHow  
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:  
**KENNT  
SIE NICHT.  
HILFT IHNEN  
TROTZDEM.**

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



»» **ES GIBT KAUM EINEN BEREICH,  
IN DEM DIE BIOLOGISCHE  
TRANSFORMATION NICHT EIN TEIL  
UNSERER ZUKUNFT SEIN WIRD.«**

#WeKnowHow