

Fraunhofer

weiter.vorn

Das Magazin

4/19

Quanten auf dem Sprung



Genuss ist planbar - nicht
nur zu Weihnachten

Alle wollen Sicherheit - so
hilft intelligente Technik

Mobil in die Zukunft - wie
wichtig wird Wasserstoff?

Bereit für den Job der Zukunft?

WEITERBILDUNG MIT FRAUNHOFER

Erleben Sie Innovationen, qualifizieren Sie sich berufsbegleitend und sichern Sie sich Ihren Wissensvorsprung.
www.academy.fraunhofer.de

Lassen Sie uns die Zukunft gestalten!



Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Was wird uns die Zukunft bringen? In diesen Wochen rund um die Jahreswende beschäftigen sich sehr viele Menschen mit genau dieser Frage. Lassen Sie uns an dieser Stelle nicht in Kristallkugeln blicken. Wir wollen die Zukunft nicht vorher-sagen. Wir wollen sie gestalten.

Es ist eine Zukunftsmaschine, die dieses Fraunhofer-Magazin seinen Lesern zum Start ins Jahr 2020 auf 22 Seiten vorstellt – eine Maschine mit dem Potenzial, unsere Zukunft grundlegend zu verändern. Die Fraunhofer-Gesellschaft bringt zusammen mit IBM den ersten Quantencomputer nach Deutschland – als offene Forschungsplattform und für Unternehmen jeder Größenordnung. Von 2021 an wird er, betrieben von einem Konsortium aus sieben Fraunhofer-Instituten unter der Leitung von Prof. Manfred Hauswirth, der anwendungsnahen Quantencomputing-Forschung in der EU zu ungeahnten Möglichkeiten verhelfen. Diese Zukunftsmaschine wird ihr Potenzial mit dem Zukunftsthema der Künstlichen Intelligenz zu signifikanten Leistungssteigerungen verbinden.

Quantensysteme können dank der Parallelität des Rechen-vorgangs sehr viele Möglichkeiten simultan darstellen. Das unterscheidet sie grundlegend von konventionellen digitalen Rechnern. Wenn ein System viele Möglichkeiten gleichzeitig berücksichtigen kann, ist sein Lernverhalten deutlich ge-steigert – und ebenso die Fähigkeit, komplexeste Zusammen-hänge extrem effizient zu erfassen und umzusetzen. So wird die Verbindung von Quanten und Künstlicher Intelligenz nicht weniger sein als eine zukünftige Schlüsseltechnologie, die unsere Wettbewerbsfähigkeit in den internationalen Hightech-Märkten absichern wird.

Die Einwände sind mir bewusst. Europa, heißt es immer wieder, habe den Anschluss verloren. Mehr als zehn Milliarden Euro soll China bereits in die Quantenentwicklung investiert haben. Der erste Quantensatellit, der erste Prototyp einer quantenkryptografisch gesicherten Kommunikationsstrecke

waren die Ergebnisse. All das mag richtig sein. Jedoch: Es waren europäische Quanten-Pioniere, die China erst mit ihrer Forschungsleistung die Voraussetzungen verschafft haben. »Deutschland ist in einer sehr guten Ausgangsposition«, versichert Prof. Andreas Tünnermann im Interview auf Seite 30 in diesem Magazin. Und ich kann versprechen: Fraunhofer nimmt seine Verantwortung an. Mit dem ersten Quanten-computer werden wir auch diesen Wandel positiv gestalten. Es ist für uns Europäer nicht zu spät, uns dieser Heraus-forderung zu stellen. Wir können zuversichtlich sein, dass Quantenkommunikation uns helfen wird, das Grundrecht auf Sicherheit und Souveränität unserer Daten durchzusetzen. Wir können uns darauf freuen, wie Quantentechnologien gerade in der Medizin den Fortschritt dem Menschen sehr schnell erlebbar machen. Und wir werden beobachten kön-nen, wie in der Quantensensorik und im Quantenimaging sehr bald marktreife Entwicklungen in die Anwendung kommen werden.

Was wird uns die Zukunft bringen? Lassen Sie mich an dieser Stelle meine klare Antwort geben. Die Zukunft bringt uns unendlich viele Möglichkeiten. Ich freue mich darauf, Sie mit Ihnen gemeinsam im neuen Jahr 2020 zu ergreifen.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt

10 Aufbruch in eine neue Ära

Die Fraunhofer-Gesellschaft bringt gemeinsam mit IBM den ersten Quantencomputer nach Deutschland – und auch weitere Quantentechnologien in die Anwendung.



Quantencomputing wird der Forschung in der EU zu ungeahnten Möglichkeiten verhelfen.



32 Genuss ist planbar

Fraunhofer-Fachleute entwickeln die Köstlichkeiten der Zukunft.

03 **Editorial**

06 **Kurz gemeldet, Impressum**

10 **Titelgeschichte: Quanten auf dem Sprung**
Willkommen in einer Welt, wo nichts logisch erscheint – aber alles in naher Zukunft möglich werden kann! So bringt Fraunhofer die neuen Technologien in Richtung Anwendung.

32 **Forschen für das große Mmmh**
Weniger Fett, weniger Salz und trotzdem ganz viel Genuss? Fraunhofer-Forschende machen es möglich.

34 **Die Revolution kommt tropfenweise**
Zehn Jahre Forschung, eine Ausgründung: Neue Chancen für die Medikamentenentwicklung.

36 **Ihr Kinderlein – wartet?**
Eine EU-Verordnung will Kranke schützen, macht aber kleinen Patienten und Patientengruppen das (Über-)Leben schwer. Fraunhofer arbeitet daran, die Folgen zu mildern.

38 **O Tannenbaum, o Tannenbaum!**
Wie nachhaltig ist unser wichtigstes Weihnachtsaccessoire? Fakten, Daten und Zahlen.

40 **Vom Auto ins All**
Kann Technik aus dem Automobilbau der Weltraumfahrt zu neuen Möglichkeiten verhelfen?

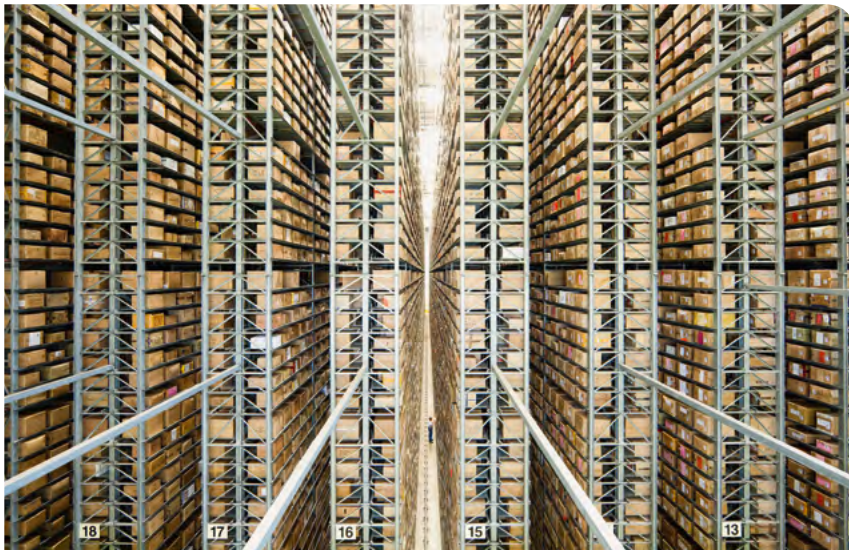
44 **Wie aus Fliegenlarven ein nobles Mahl wird**
Eine nachhaltige Lösung für wertvolles Protein: Nun muss die Schwarze Soldatenfliege nur noch die Ekelhürde nehmen.



36 Ihr Kinderlein – wartet?
Eine EU-Verordnung macht für kleine Patienten und kleine Patientengruppen die Versorgung schwer. Fraunhofer versucht, die Folgen zu lindern.

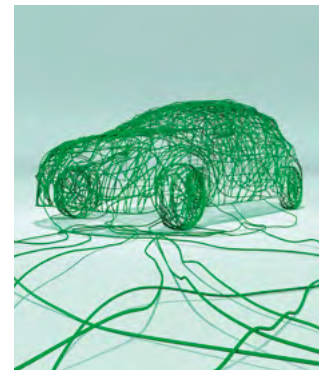


40 Vom Auto ins All
Technik aus dem Automobilbau kann dazu beitragen, die Weltraumfahrt preiswerter und fortschrittlicher zu machen.



64 Weihnachtszeit ist Paketzeit
Nie werden so viele Päckchen verschickt wie in diesen Wochen. Fraunhofer-Technik hilft beim Packen.

67 Mobil mit Wasserstoff
Klimaschonend fahren? Das Potenzial der Alternative zum E-Motor ist groß.



- 47 **Wer hoch hinaus will, sollte tief tauchen**
Das Digital Ocean Lab schafft neue Möglichkeiten für die Tiefseeforschung.
- 48 **Ein Gesicht für zwei**
Die automatische Passkontrolle kann überlistet werden. Ein Selbstversuch.
- 50 **Hoffnung Gen-Therapie**
Das letzte Mittel im Kampf gegen Krebs: Pro Patient kostet es 275 000 Euro – noch!
- 54 **Einmal buchen für alle Verkehrsmittel?**
Blockchain-Technik bringt Reisende dem Traum von der neuen Einfachheit näher.
- 56 **»Schrecklichkeiten verhindern«**
Wie Fraunhofer-Technik vor Terror und Gewalt schützt.

- 60 **Vom Winde verweht**
Was wird eigentlich aus alten Rotorblättern?
- 62 **Fraunhofer weltweit**
Entwicklungen und Projekte international.
- 64 **Die Kunst des Packens**
14 Millionen Pakete pro Tag machen sich in diesen Wochen auf den Weg.
- 67 **Zukunftschance Wasserstoff-Auto?**
Potenziale und Möglichkeiten – eine Fraunhofer-Roadmap schafft einen ersten Überblick.
- 70 **Fraunhofer vor Ort**
Wo was wichtig wird: Messen und Veranstaltungen.

Bis zu acht Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen werden von Zementfabriken produziert. Wäre die Zement-Industrie ein Staat, sie läge beim Ausstoß an Treibhaus-Gas an dritter Stelle, hinter China und den USA. Zum Vergleich: Deutschland hat einen Anteil von 2,2 Prozent am globalen CO₂-Ausstoß.

8%

Mit KI sicher durch den Körper navigieren



Der Katheter wird in der Leiste eingeführt und bis ins Gehirn vorgeschoben.
© Fraunhofer IPA

Ärzte therapieren den Schlaganfall häufig mit einer Thrombektomie – einem Eingriff, bei dem über einen Gefäßzugang in der Leiste ein dünner Katheter über die Hauptschlagader bis in das verschlossene Hirngefäß vorgeschoben wird. Im Bereich des Gefäßverschlusses öffnet sich ein sogenannter Stent-Retriever – ein winziges korbähnliches Geflecht – und verhakt sich mit dem Gerinnsel. Beim Zurückziehen des Katheters bleibt der Pfropfen an der Geflechtstruktur hängen und wird so entfernt. Dieses Verfahren dauert 45 Minuten bis zu dreieinhalb Stunden, je nach Expertise des Operateurs. Die Thrombektomie setzt eine lange Ausbildung und viel Übung voraus. Allein zehn bis 90 Minuten benötigt der Mediziner, um den Katheter zum Blutgerinnsel zu navigieren.

Jetzt soll ein computergesteuerter Katheter Abhilfe schaffen. »Die Operation selbst, also das Herauslösen des Blutpfropfens mithilfe des Stent-Retrievers, führt nach wie vor der Arzt durch. Aber die komplizierte Navigation dorthin, bei der schwierige Anatomien zu überwinden sind, soll künftig ein autonom gesteuerter Katheter erledigen«, sagt Johannes Horsch, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und

Bei einem Schlaganfall zählt jede Minute. Sind große Blutgefäße durch Gerinnsel verstopft, muss der Operateur den Verschluss so schnell wie möglich mithilfe eines Katheters entfernen – sonst drohen schwere Hirnschäden. Doch den komplizierten Eingriff können nur wenige Spezialisten ausführen. Fraunhofer-Forscher setzen auf Künstliche Intelligenz, die den Katheter zuverlässig und schnell navigiert.

Biotechnologie PAMB am Fraunhofer-Institut für Automatisierung und Produktionstechnik IPA. Die autonome Intervention per Katheter ist nicht nur bei einem Schlaganfall möglich, sie lässt sich auch bei der endovaskulären Operation von Herzinfarkten oder Lebertumoren anwenden.

Ermöglicht werden soll die Navigation durch Deep Reinforcement Learning (DRL), eine Methode, mit der sich neuronale Netze trainieren lassen. Sie ähnelt der Art, wie Menschen lernen. Die Besonderheit von DRL: Der Algorithmus generiert die Daten zum Trainieren des neuronalen Netzes eigenständig durch permanentes Üben am Computer-Simulationsmodell – einer virtuellen Nachbildung eines Gefäßbaums und Katheters, mit der der reale Algorithmus interagieren kann.

»Mit dem Modell können wir virtuell alle möglichen Bewegungen des Katheters simulieren und das neuronale Netz bis zu einem gewissen Stadium trainieren. In bisherigen Tests am Simulationsmodell waren wir in 95 Prozent der Fälle erfolgreich, sprich der Katheter konnte in einem vereinfachten Szenario problemlos autonom zum Gefäßverschluss navigiert werden«, sagt Horsch.

Jährlich erleiden
270 000
Menschen in Deutschland
einen Schlaganfall

Leben retten leicht gemacht

Bei akutem Herzstillstand ist der Faktor Zeit entscheidend. Nur wenige trauen sich zu, mit einer Herzdruckmassage zu helfen. Die neuartige Reanimationsmatte Rescue Aid soll die Scheu nehmen.

Bei akutem Kreislaufstillstand zählt jede Minute. »Doch aus Angst vor Fehlern unternehmen viele nichts oder führen die Herzdruckmassage zu zaghaft aus«, sagt Dr. Holger Böse, wissenschaftlich-technischer Leiter des Center Smart Materials am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg. »Die Überlebensrate lässt sich durch eine korrekte Herzdruckmassage deutlich verbessern. Rescue Aid vereinfacht die Reanimation«, so Böse. Ein direkter Körperkontakt ist nicht mehr notwendig, die Hemmschwelle und die Berührungsangst des Helfers sinken. Entwickelt wurde die Matte aus Silikon im Fraunhofer-Designwettbewerb »Form Follows Future«, der Wissenschaft und Design vernetzt: Die Gestaltung übernahmen Studierende der Hochschule für angewandte Wissenschaften in München.

Die Reanimationsmatte wird auf den Oberkörper aufgelegt. In der Matte integrierte, sternförmig angebrachte Verformungssensoren messen die Drucktiefe. Die Sensoren sind per Kabel mit einer Elektronik und LEDs verbunden, die sich in einem Kästchen am oberen Mattenrand befinden und durch einen Lichtcode anzeigen, ob ausreichend gedrückt wird. Grün signalisiert »alles in Ordnung«, rot »Druck ist zu stark«. So kann der Helfer die Drucktiefe seiner Hände permanent überprüfen und gegebenenfalls korrigieren. Ein akustisches Signal gibt zudem den Rhythmus der Kompression vor. Der Tongenerator befindet sich ebenfalls in dem Kästchen.

Die Lichter zeigen dem Helfer, ob der Druck stark genug ist. © Fraunhofer ISC

In Tests mit einer Puppe, die für Wiederbelebungstrainings verwendet wird, konnten der Forscher und sein Team nachweisen, dass Rescue Aid funktioniert. Die Matte liegt als Demonstrator vor, sie soll optimiert und an unterschiedliche Personengrößen angepasst werden.

Die Sensoren bestehen aus einer weichen Folie und können daher keine Verletzungen auslösen – ein Vorteil gegenüber den wenigen am Markt verfügbaren Produkten, die starr sind und bei der Reanimation Schmerzen in den Handballen verursachen. Aufgrund des technologischen Ansatzes und der einfachen Elektronik lässt sich die Reanimationsmatte kostengünstig fertigen. »Wir können uns gut vorstellen, dass Rescue Aid künftig fester Bestandteil eines Erste-Hilfe-Sets wird«, sagt Böse.



Umweltfreundlicher und effizienter

Ein neues Hitzeschutzschild aus Keramik senkt den Treibstoffverbrauch und den Schadstoffausstoß von Flugzeugen. Entwickelt wurde das Verfahren zur Beschichtung von Flugzeugturbinen am Fraunhofer-Institut für Weckstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden.

Mithilfe eines innovativen Suspensionsspritzverfahrens ist es den Ingenieurinnen Dr. Maria Manuel Barbosa und Dr. Laura Toma gelungen, eine extrem dünne Abschirmschicht aus Keramik von einem Tausendstel Millimeter aufzutragen. Eine so beschichtete Flugzeugturbinen kann bei bis zu 150 Grad höheren Temperaturen arbeiten. Dies erhöht ihren Wirkungsgrad, macht sie langlebiger und reduziert den Kühlaufwand. »Auch die Umwelt wird weniger belastet, weil der Treibstoff in den verbesserten Triebwerken effizienter verbrennt und entsprechend weniger Schadstoffe ausgestoßen werden«, sagt Dr. Barbosa.



Mit »s« oder »ß«? Ein Stift könnte in Zukunft helfen, Rechtschreibfragen zu klären. © Stocksy/F1online

Intelligenter Stift soll das Schreiben lernen leichter machen

Ein Stift, der beim Schreiben auf Rechtschreibfehler aufmerksam macht? Das wünscht sich wohl jeder Schüler. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen arbeiten daran, diesen Wunsch zu erfüllen.

Ausgestattet mit Sensorik, soll der intelligente Stift nicht nur Rechtschreibfehler korrigieren. »Der Stift ist als intelligentes Hilfsmittel gedacht – es soll Kinder auch dabei unterstützen, den Automationsgrad ihrer Handschrift und ihr Schriftbild selbstständig zu verbessern«, sagt Julia Knopf, Professorin für Fachdidaktik Deutsch Primarstufe an der Universität des Saarlandes, die zusammen mit Partnern aus der Industrie an dem Verbundprojekt beteiligt ist.

Das Prinzip klingt einfach: Während man mit dem Stift auf Papier schreibt, wird die Schrift in Echtzeit auf ein Tablet übertragen und von der Sensorik ausgewertet. Doch die Aufgabenstellung ist wesentlich komplexer: »Ein wichtiger Teil der Studie behandelt die Frage, wann und über welche Methoden die Rückmeldung zur Rechtschreibung erfolgen soll und wie das didaktische Übungsszenario aussieht«, erläutert Knopf. Sobald die Übungskonzepte entwickelt sind, werden sie vermutlich ab 2022 an verschiedenen Schulen erprobt.

Fettabdrücke ade

Türgriffe, Armaturen oder Kühlschränke mit Edelstahloberfläche sehen immer schick und edel aus – bis man sie anfasst. Dann bleiben unschöne, fettige Fingerabdrücke zurück, die sich nur mit Mühe entfernen lassen. Ein neuer Nanolack, den Forscher des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS entwickelt haben, soll das künftig verhindern.



Fett und Wasser perlen an dem neuen Lack einfach ab. © iStock

Der innovative Nanolack ist wasser- und ölabweisend. Er enthält spezielle Partikel, die sich an der Oberfläche des Edelstahls anlagern. Die Folge: Die Oberfläche wird rauer und vergrößert sich. Fasst man jetzt an die Kühlschranktür, berührt man die Oberfläche nur an den erhöhten Stellen – das Fingerfett erreicht die tiefer liegenden Bereiche nicht und der »Fingerpatscher« fällt kaum auf.

»Wir untersuchen: Wie groß sind die einzelnen Partikel in den verschiedenen Lacksystemen? Sind die Partikel homogen verteilt? Wie wirken sich die eingesetzten Additive aus?«, erklärt Dr. Jessica Klehm, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geschäftsfeld »Biologische und makromolekulare Materialien« am Fraunhofer IMWS. Nur so lässt sich die Qualität des Lacks beurteilen. Lagern sich die Nanopartikel beispielsweise zu größeren Partikeln zusammen, büßt der Lack eventuell seine Transparenz ein. Sind die Teilchen dagegen zu klein, bleibt die Oberfläche zu glatt – der Fettfilm könnte dann trotz des Lacks großflächig an ihr haften. Einen Favoriten unter den analysierten Lacksystemen haben die Forscher bereits gefunden. Nächstes Jahr soll die Herstellung des Lacksystems in einen industriellen Maßstab übertragen werden.

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: Janine van Ackeren, Mandy Bartel, Christine Broll, Alexandra Goßner, Sirka Henning, Daniela Leitner, Eric Schütz (Zissue), Mehmet Toprak, Monika Weiner, Britta Widmann, Winnie Winkler.

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

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2019



Auch Rollos könnten mit den neuen Solarzellen beschichtet werden.
© Alessandro Saffo/MATO



Strom aus Stoff

Mit LKW-Planen Strom erzeugen? Neuartige textile Solarzellen machen es möglich. So könnten in Zukunft Kühltransporter die für ihre Aggregate benötigte Energie selbst gewinnen. Auch Rollos lassen sich zu Stromerzeugungsf lächen umwandeln

»Über verschiedene Beschichtungsverfahren können wir biegsame Solarzellen direkt auf technischen Textilien herstellen«, sagt Dr. Lars Rebenklau, Gruppenleiter für Systemintegration am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Sprich: Die Forscher verwenden kein Glas oder Silizium wie bei herkömmlichen Solarmodulen, sondern Textilien als Substrat. »Das jedoch ist alles andere als leicht – schließlich sind die Anlagen in den textilverarbeitenden Unternehmen mit fünf bis sechs Metern Stoffbreite und Stofflängen von tausend Metern riesig«, ergänzt Dr. Jonas Sundqvist, Gruppenleiter für Dünnschichttechnologien. Dazu kommt: Die Textilien müssen während der Beschichtung Temperaturen von etwa 200 Grad Celsius überstehen. Auch anderen Anforderungen wie Brandschutz-Vorschriften, hohe Stabilität und ein günstiger Preis müssen die Solarzellen gerecht werden. »Wir haben uns daher für ein Glasfasergewebe entschieden, das all diese Anforderungen erfüllt«, sagt Rebenklau.

Eine Herausforderung stellte das Aufbringen der verschiedenen Schichten einer Solarzelle auf das Gewebe dar – also die Grundlektrode, die photovoltaisch wirksame Schicht und die Deckelektrode. Denn verglichen mit diesen nur ein bis zehn Mikrometer dünnen Schich-

ten gleicht die Oberfläche eines Textils einem riesigen Gebirge. Die Forscher greifen daher zu einem Trick: Sie bringen zunächst eine Einebnungsschicht auf das Textil auf, die Berge und Täler ausgleicht.

Alle Produktionsprozesse wurden von Anfang an so gestaltet, dass sie sich problemlos in die Fertigungslinien der Textilindustrie einfügen lassen. So werden die Elektroden aus elektrisch leitfähigem Polymer ebenso wie die photovoltaisch wirksame Schicht über das gängige Rolle-zu-Rolle-Verfahren aufgebracht. Um die Solarzelle möglichst robust zu machen, laminieren die Forscher zusätzlich eine Schutzschicht auf.

»Wir haben einen ersten Prototyp erstellt und konnten zeigen, dass unsere textile Solarzelle an sich funktioniert«, sagt Rebenklau. »Ihre Effizienz liegt momentan bei 0,1 bis 0,3 Prozent.« In einem Nachfolgeprojekt arbeiten der Ingenieur und seine Kollegen nun daran, die Effizienz auf über fünf Prozent zu steigern – denn ab diesem Wert rechnet sich die textile Solarzelle. Zwar erreichen Siliziumzellen mit zehn bis 20 Prozent deutlich höhere Effizienzwerte. Allerdings soll die neuartige Zelle auch nicht mit den herkömmlichen konkurrieren, sondern sie sinnvoll ergänzen.

200°
müssen die
Textilien
überstehen
bei der Be-
schichtung

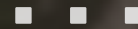
Faszination Quanten

Abenteuer Zukunft

– es hat begonnen!



Quanten können verschiedene Zustände



Dr. Erik Beckert vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF mit einer Photonenquelle zur Erzeugung verschränkter Lichtteilchen. © Sven Döring



■ ■ ■ gleichzeitig
einnehmen.
Das ist nicht
die einzige ■ ■ ■

Marta Gilaberte Basset arbeitet in ihrem Labor an neuen Technologien für angewandte Quantenbildung. © Sven Döring







■ ■ ■ Gemeinsamkeit mit
Fraunhofer-
Forschenden.

Prof. Andreas Tünnermann, Leiter des Fraunhofer IOF, ist einer der führenden Köpfe für angewandte Quantentechnologien. © Sven Döring



Willkommen in der Welt der Quanten,

wo nichts logisch, aber alles möglich scheint.

Hier beginnt für uns die Reise in ein neues Zeitalter,

in dem Quantentechnologien uns helfen,

die Welt besser zu verstehen und zu organisieren.

Fraunhofer bringt sie in die Anwendung.

Text: Mandy Bartel

Wann kommt der Quantencomputer?

Drei Fragen an Prof. Manfred Hauswirth, Fraunhofer FOKUS, zur Quantencomputer-Initiative mit IBM ▶

Die Intuition kann sie nicht fassen. Albert Einstein, 1879 geboren, fand sie »spukhaft«. Doch nun erreicht die Quantenphysik die Lebenswirklichkeit. Selten waren sich Experten so einig, dass Quantentechnologien zum »Game Changer« werden, zu einem Faktor, der die Welt verändert. Beispiel Medizin: Quantensensoren könnten bislang ungeahnte Einblicke in Gehirnfunktionen geben, quantenoptische Verfahren die Diagnose von Krankheiten revolutionieren. Quantencomputer könnten neue Einblicke in die Wirkungen von Molekülen schaffen und dazu beitragen, Medikamente effizienter zusammensetzen und kostengünstiger herzustellen.

Wenn Quantentechnologien in die Anwendung kommen, sind die Möglichkeiten noch kaum absehbar, so gewaltig ist das Potenzial. Gibt es neue Chancen für das Klima, wenn sich die Veränderungen genauestens messen und vorherberechnen lassen? Welche neuen Produkte wird es geben, wenn sich Materialien schneller und günstiger entwickeln und prü-

fen lassen? Ist der Verkehrsstillstand in den Städten Geschichte, wenn Quantencomputer für jeden Einzelnen die Fahrwege optimieren? Wird es abhörsichere und souveräne digitale Infrastrukturen für Wirtschaft und Privatpersonen geben?

Die Erwartungen sind gigantisch, die Einsätze groß. Bis 2022 stellt die Bundesregierung 650 Millionen Euro für die Erforschung von Quantentechnologien zur Verfügung. Die EU fördert mit ihrer Quantum-Flagship-Initiative die europäische Forschung mit einer Milliarde Euro in den kommenden zehn Jahren. Und die Fraunhofer-Gesellschaft bringt zusammen mit dem US-Unternehmen IBM den ersten kommerziellen Quantencomputer als offene Forschungsplattform nach Europa. Bis Ende 2021 soll er vor Ort in Deutschland verfügbar sein. Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, erwartet einen »entscheidenden Fortschritt für die deutsche Forschung und Unternehmen aller Größenordnungen«, und das »unter vollständiger Datenhoheit nach europäischem Recht«.

Europa nimmt die Herausforderungen der Zukunft an. China soll schon mehr als zehn Milliarden US-Dollar in die Quantenentwicklung investiert haben. Ergebnis war der erste Quantensatellit, den das Land 2016 zur Verteilung von Quantenschlüsseln ins All schickte – im Übrigen konstruiert von einem Doktoranden, der sein Handwerk bei einem der europäischen Quanten-Pioniere gelernt hatte, bei Prof. Anton Zeilinger, Leiter des Österreichischen Instituts für Quantenoptik und Quanteninformation und Präsident der Akademie der Wissenschaften. 2017 folgte der erste Prototyp einer quantenkryptografisch gesicherten, 2000 Kilometer umfassenden Kommunikationsstrecke zwischen Peking und Shanghai. ▶

1 Worum geht's in dem Projekt?

Gemeinsam mit IBM werden wir den ersten universellen Quantencomputer in Europa an einem deutschen Standort aufbauen. Ziel ist es, technologische Lösungen des angewandten Quantencomputings in unterschiedlichen Einsatzfeldern zu entwickeln und zu bewerten. Daran sollen auch Unternehmen jeder Größe mitforschen und -arbeiten können.

2 Warum ist es wichtig?

Die anwendungsorientierte Forschung im Quantencomputing steht erst am Anfang. Wir müssen Quantenalgorithmen definieren und übersetzen, um sie für die Anwendungsprogrammierung einfach nutzbar zu machen. Das erfordert Fachkompetenzen in der Industrie, die wir durch Wissenstransfer hierzulande frühzeitig aufbauen wollen. Diese Initiative ermöglicht es außerdem, Quantencomputing-Strategien unter völliger Datenhoheit und nach europäischem Recht zu entwickeln – ohne Abhängigkeit von großen Internetkonzernen aus Übersee.

3 Wann wird es erste Ergebnisse geben?

2021 soll der Quantencomputer physisch in Deutschland stehen. Bis zum praktischen Einsatz in einem wirtschaftlichen Umfeld wird es aber, optimistisch geschätzt, noch zehn bis zwanzig Jahre dauern.



© pixabay

»Den Rest meines Lebens möchte ich damit zubringen, darüber nachzudenken, was Licht ist«,

sagte Albert Einstein, der der Quantentheorie Zeit seines Lebens skeptisch gegenüberstand.

Fünf

Branchen,
die Quanten-
technologien
verändern
werden

1
Medizin
und Gesund-
heitswesen
Bessere
Einblicke in
biologische
Prozesse, effi-
zientere Ent-
wicklung von
Medikamenten,
Verbesserung
von Diagnose-
verfahren

► Hat Europa wieder einmal das Nachsehen? In Deutschland ist Prof. Manfred Hauswirth, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS in Berlin, der Überzeugung, dass es für Europa noch nicht zu spät ist. »Wir haben in Deutschland und Europa ein tiefes Anwendungsverständnis, wir kennen die großen Produktions- und Branchenprozesse und wir haben die notwendige Expertise im Bereich quantenphysikalischer Prozesse. Darauf kommt es in der jetzigen Phase an, in der Quantentechnologien für die Anwendung erforscht werden. Denn auf dem Weg zu einer wirklichen praktischen Nutzung«, sagt der Experte, »stehen wir erst am Anfang.«

Die Quantencomputer kommen

Diese Anfänge sind vielversprechend – und sie bestimmen die Schlagzeilen der letzten Monate. Es begann mit der kleinen Meldung Ende September, Google habe erstmals die Quantenüberlegenheit nachgewiesen. Ein 53-Qubit-Quantencomputerchip des Internetriesen soll eine Berechnung eines sehr speziellen Zufallszahlenproblems in etwas mehr als drei Minuten gelöst haben, für die der leistungsstärkste Supercomputer derzeit schätzungsweise 10 000 Jahre brauchen würde. Wettbewerber IBM beanstandete die wissenschaftliche Beweiskraft: Das Potenzial des klassischen Superrechners sei nicht ausge-

Willkommen in der Quantenwelt

Quantenphysik ist in unserem Alltag praktisch kaum erlebbar. Alles für uns direkt erfahrbare – alle makroskopischen, größeren Dinge – gehorcht den Prinzipien der klassischen Physik. Doch im Kleinen, auf atomarer Ebene, werden diese auf den Kopf gestellt: Denn dort zeigen sich die Gesetze der Quantenphysik. Und die erscheinen nicht nur auf den ersten Blick merkwürdig: Elementarteilchen können sich wie Teilchen oder Wellen verhalten. Sie können sich überlagern und damit mehrere Zustände gleichzeitig einnehmen. Und sie lassen sich miteinander verschränken, so dass ein Teilchen immer die komplementäre Information zu seinem Zwilling besitzt – egal wo dieser sich befindet. Vor allem die Unsicherheit des Zustands eines Teilchens ist in der Quantenmechanik fundamental. Es befindet sich in einer sogenannten Superposition von verschiedenen möglichen Zuständen. Kurz: Nichts steht fest, aber alles ist möglich. Es geht also um Wahrscheinlichkeiten, genauer um Wahrscheinlichkeitswellen. Erst wenn man ein Teilchen beobachtet oder misst, weiß man, an welcher Position, in welchem Zustand es sich genau befindet – und zerstört damit gleichzeitig den Quantenzustand.

1900

Geburtsstunde der Quantenphysik

Max Planck stellt die Quantentheorie auf: Licht besteht aus winzigen, unteilbaren Energiepaketen, den Quanten

1913

Niels Bohr entwickelt erste Vorstellung von einem **quantisierten Atom**

1915

Albert Einstein stellt die Allgemeine Relativitätstheorie auf und geht von **Lichtphotonen als Teilchen** aus

1924

Louis-Viktor de Broglie begründet den **Welle-Teilchen-Dualismus**



schöpft worden, der IBM-Supercomputer benötige für die Rechenaufgabe nicht 10 000 Jahre, sondern nur zweieinhalb Tage. Zudem sei das Problem nicht von praktischer Relevanz. Der Schlagabtausch unter Konkurrenten deutet es an: Es geht nicht nur um theoretische Werte; es geht um viel mehr.

Es ist nicht nur ein Wettlauf um Prestige. Analysten von Morgan Stanley prognostizieren, dass sich der Markt für High-End-Quantencomputer bis 2025 auf zehn Milliarden Dollar pro Jahr verdoppeln wird. Die Zahl der Hersteller von Quantencomputern ist stetig gewachsen: Neben IBM und Google bauen auch der chinesische Internetriese Alibaba und Start-ups wie Novarion, Rigetti oder D-Wave an den Superrechnern. Doch ist Quantencomputer nicht gleich Quantencomputer. Unterschieden wird zwischen universellen Quantenrechnern, auf denen prinzipiell jede Art von Rechenoperationen durchgeführt werden kann, und sogenannten Quantenannealern, die – vergleichsweise – einfacher aufgebaut und nur für ganz bestimmte Aufgaben geeignet sind.

So nutzt beispielsweise VW seit 2017 einen Quantenannealer von D-Wave, um in seinen Forschungs labs die Simulation von Verkehrsflüssen zu optimieren. Auch BMW forscht, um mit solchen Quantencomputern Arbeitsschritte von Fertigungsrobotern zu optimieren.

Wesentlich komplexer in Aufbau und Arbeitsweise

sind die universellen Quantencomputer. Das Besondere: Die Rechenleistung solcher Geräte ist nicht linear, sondern verdoppelt sich mit jedem zusätzlichen Qubit – also mit zwei Qubits hätte man vier, mit drei schon acht Kombinationsmöglichkeiten. Entscheidend ist jedoch nicht nur die Quantität der Qubits, sondern vor allem deren Qualität, sprich, die Verschränkungen der Qubits und die Kohärenzzeit, die das Quantensystem stabil bleibt, um zu rechnen – sonst geht die Information in einem Rauschen verloren. Die meisten universellen Quantencomputer, wie etwa Googles Bristlecone mit 73 Qubit, funktionieren bislang nur unter speziellen Bedingungen im Labor. ▶

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

1925

Erwin Schrödinger beschreibt Materiewellen als Wahrscheinlichkeitswellen und erstellt eine grundlegende Gleichung der Quantenmechanik, die **Schrödingergleichung**

1935

Gedankenexperiment **Schrödingers Katze**

1938

erste **Kernspaltung** durch Otto Hahn, wenig später Bau der ersten Atombombe

1927

Werner Heisenberg formuliert die **Unschärferelation**: Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons sind nicht zugleich bestimmbar.

seit den
50er
Jahren

Beginn der **ersten Quantenrevolution** durch praktische Nutzung von Effekten makroskopischer Quantensysteme

1953

Gründung des **CERN** (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) zur Untersuchung subatomarer Teilchen

1954

erste **Mikrowelle**

2

Logistik und Verkehr
Optimierte Routenplanungen, effizientere Standortentscheidungen z.B. für Lagerhäuser, Optimierung von Energienetzen

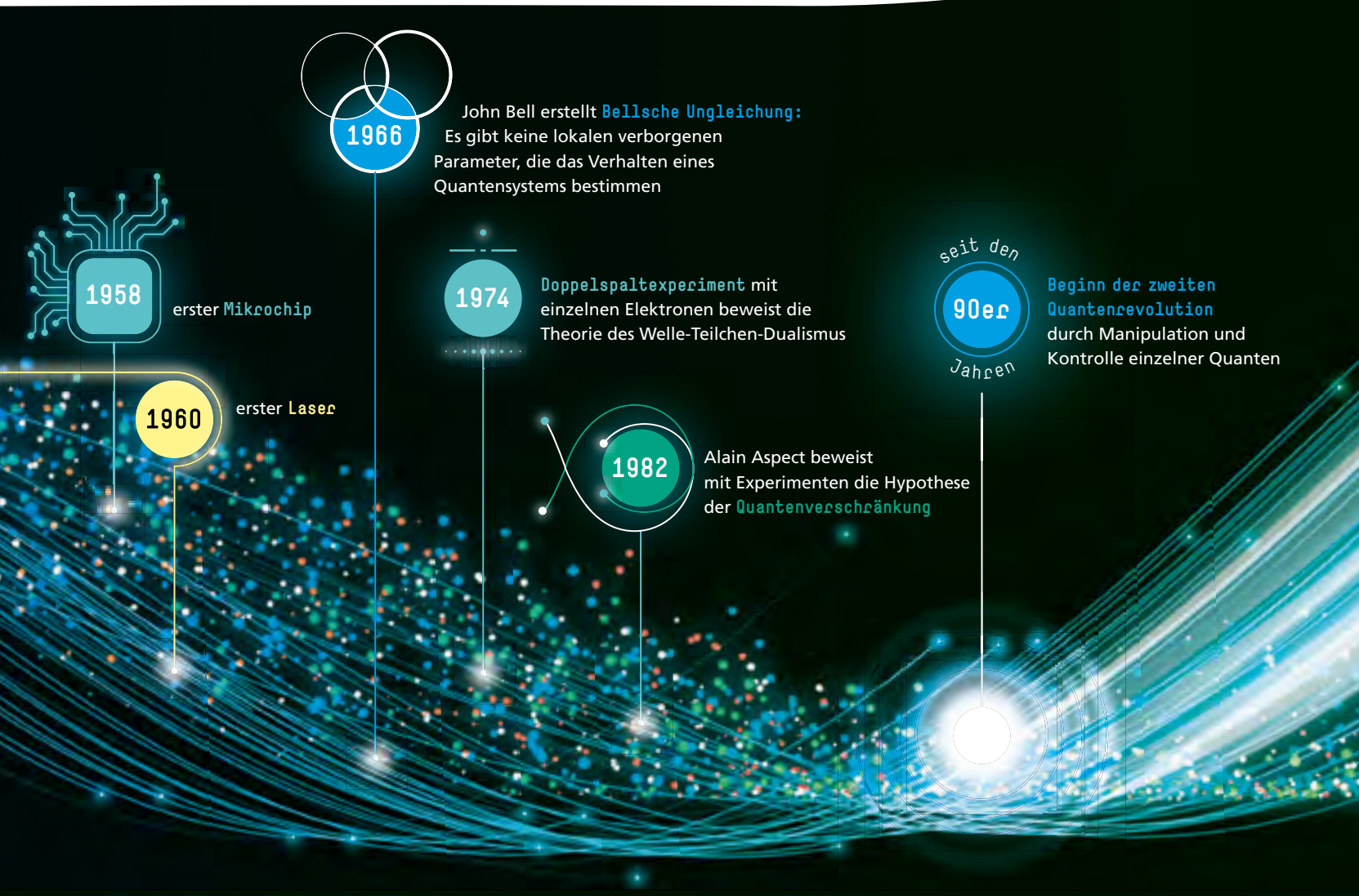
► Im Januar 2019 stellte IBM den ersten kommerziell – also außerhalb von Laborumgebungen – nutzbaren Quantencomputer vor, den IBM Q System One. Um die anwendungsnahe Quantencomputing-Forschung in der EU voranzubringen, soll diese ab 2021 von einem Konsortium aus sieben Fraunhofer-Instituten in Deutschland betrieben werden. »Eine unserer zentralen Forschungsfragen ist, welche konkreten Anwendungsszenarien der Industrie sich für die Berechnung mit einem Quantencomputer eignen und wie sich die notwendigen Algorithmen dafür entwickeln und einfach in Applikationen übersetzen lassen«, erklärt Hauswirth. Weitere Ziele der Initiative sind, die Einstiegsschwelle für Unternehmen möglichst niedrig zu halten und einen Wissenstransfer in die Wirtschaft zu etablieren, um dort frühzeitig Fachkompetenzen für Quantencomputing aufzubauen.

Noch gibt es erhebliche Hürden für den Betrieb eines Quantencomputers. Oberste Prämisse ist es, die fragilen

Quanten gegen sämtliche Umwelteinflüsse abzuschirmen. Sie benötigen eine Temperatur niedriger als im All, müssen fast auf den absoluten Nullpunkt von etwa minus 273 Grad herabgekühlt werden, arbeiten nur unter Vakuumbedingungen, müssen elektromagnetisch abgeschirmt sein – nur so bleibt die Chance auf brauchbare Berechnungen. Fehler können sowohl durch externe Einflüsse wie Erschütterungen auftreten als auch bei der Manipulation und dem Auslesen von Qubits mithilfe von elektromagnetischen Wellen.

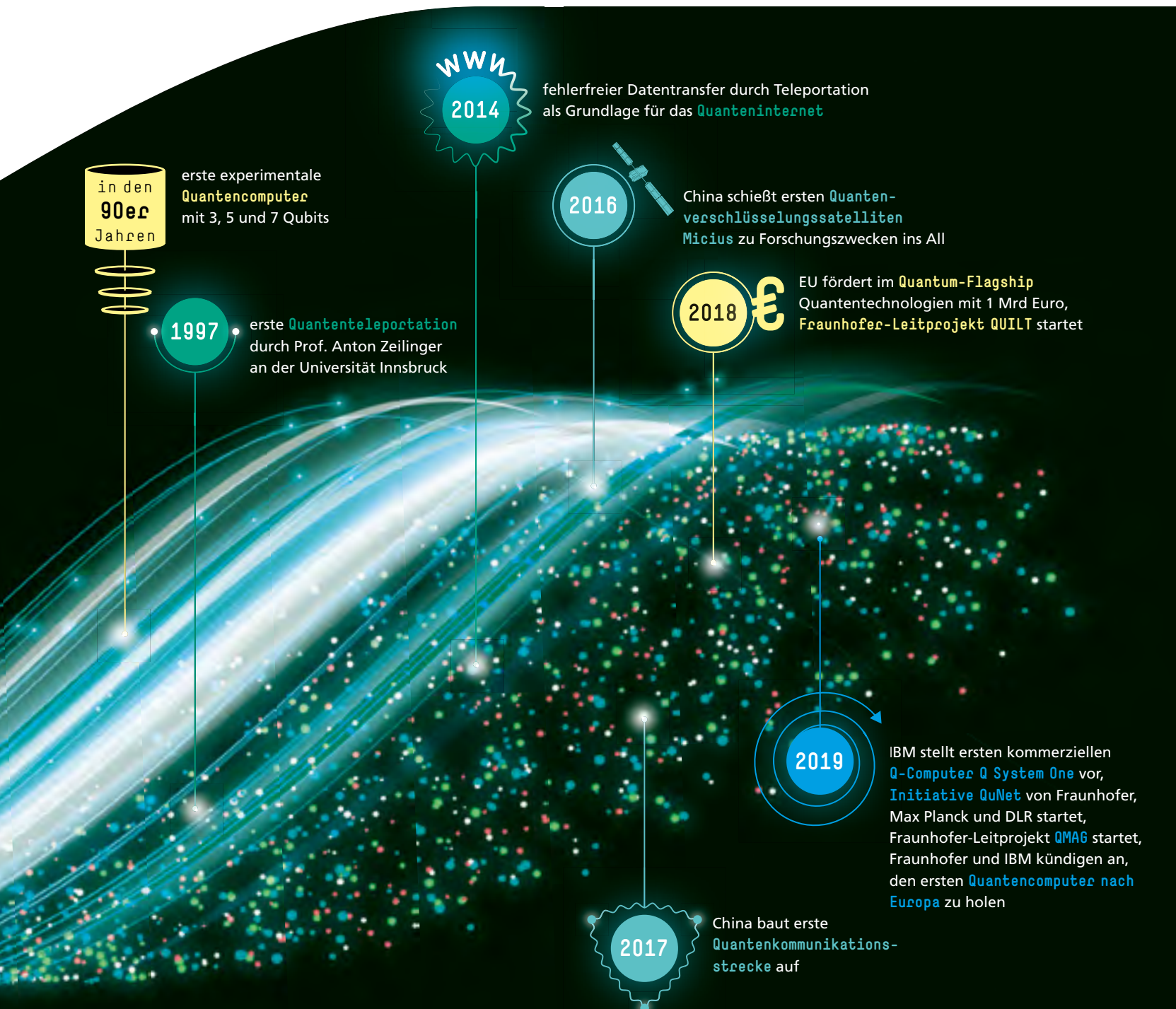
Komplexe Probleme knacken

Doch welche konkreten Aufgaben können Quantencomputer lösen? »Quantencomputer werden in wenigen Jahren Primfaktoren sehr effizient zerlegen können. Dies wird bisherige Kryptosysteme angreifbar machen. Deshalb wird derzeit sehr aktiv an Post-Quantum-Verschlüsselung geforscht«, erklärt Hauswirth. In einigen Jahren werden sie noch komplexere



Probleme bewältigen: »Schwierig ist heute im Finanzbereich zum Beispiel die parallele Steuerung von Milliarden von Zahlungsströmen in Echtzeit in einem sehr engen regulatorischen Korsett. Eine sequenzielle Durchführung ist fehleranfällig, mit Quantencomputern ließe sich das optimieren.«

Prof. Anita Schöbel, Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern und gemeinsam mit Hauswirth verantwortlich für das Thema Quantencomputing bei Fraunhofer, nennt ein aktuelles Anwendungsbeispiel aus ihrem Institut: »Wir arbeiten an ▶



► Projekten, die sogenannte stochastische partielle Differentialgleichungen wie die Fokker-Planck-Gleichungen nutzen. Diese werden gebraucht bei der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien oder Windturbinen, bei Berechnungen granularer Strömungen oder auch zur Beschreibung der Preisentwicklung in der Finanzmathematik. Solche Gleichungen lassen sich in quantenmechanische Gleichungen umwandeln und mit Quantencomputern vermutlich viel schneller berechnen als bisher.«

Auf dem Sprint zur Quanten-KI

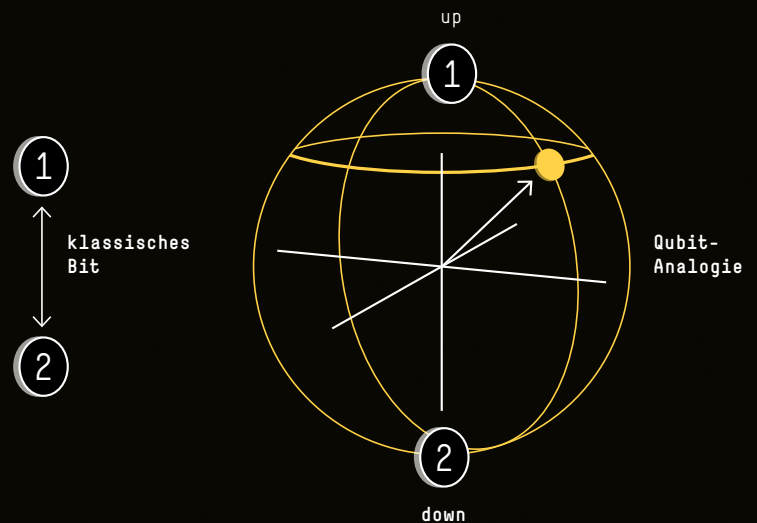
Echte Sprunginnovationen liefern soll der Quantencomputer bei der künstlichen Intelligenz (KI). Durch die Verbindung der zwei Schlüsseltechnologien entsteht aktuell ein neues interdisziplinäres Forschungsgebiet: das Quanten-Maschinelle Lernen (QML). Prof. Christian Bauckhage vom Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin erläutert den Zusammenhang: »Mathematisch betrachtet sind viele KI-Probleme sogenannte kombinatorische Optimierungsprobleme, etwa optimale Liefer Routen zu bestimmen. Wenn solche Probleme komplex sind, also viele Variablen enthalten, ist es heute auf digitalen Computern sehr schwer bis unmöglich, optimale Lösungen in vertretbarer Zeit zu finden. Quantencomputern hingegen könnten dies in kürzester Zeit bewältigen.«

Quanten-Pionier John Stewart Bell (links), Vater der Bellschen Ungleichung, mit seinem Kollegen Veltman 1973 am CERN.
© akg-images



Wie funktioniert ein Quantencomputer?

Während ein klassischer Rechner mit Bits rechnet, nutzt ein Quantencomputer Qubits. Diese können nicht nur die Werte 0 oder 1 annehmen, sondern durch die Überlagerung von Quantenzuständen auch jede beliebige Kombination aus beidem. Erst wenn ein Qubit gemessen wird, wird es auf einen konkreten Wert festgelegt. Jedes zusätzliche Qubit verdoppelt dabei die Leistungsfähigkeit des Systems – bei 50 Qubits gäbe es also zwei hoch 50 Kombinationsmöglichkeiten. Auf diese Weise lassen sich größere Probleme und komplexere Aufgaben parallel statt linear berechnen.



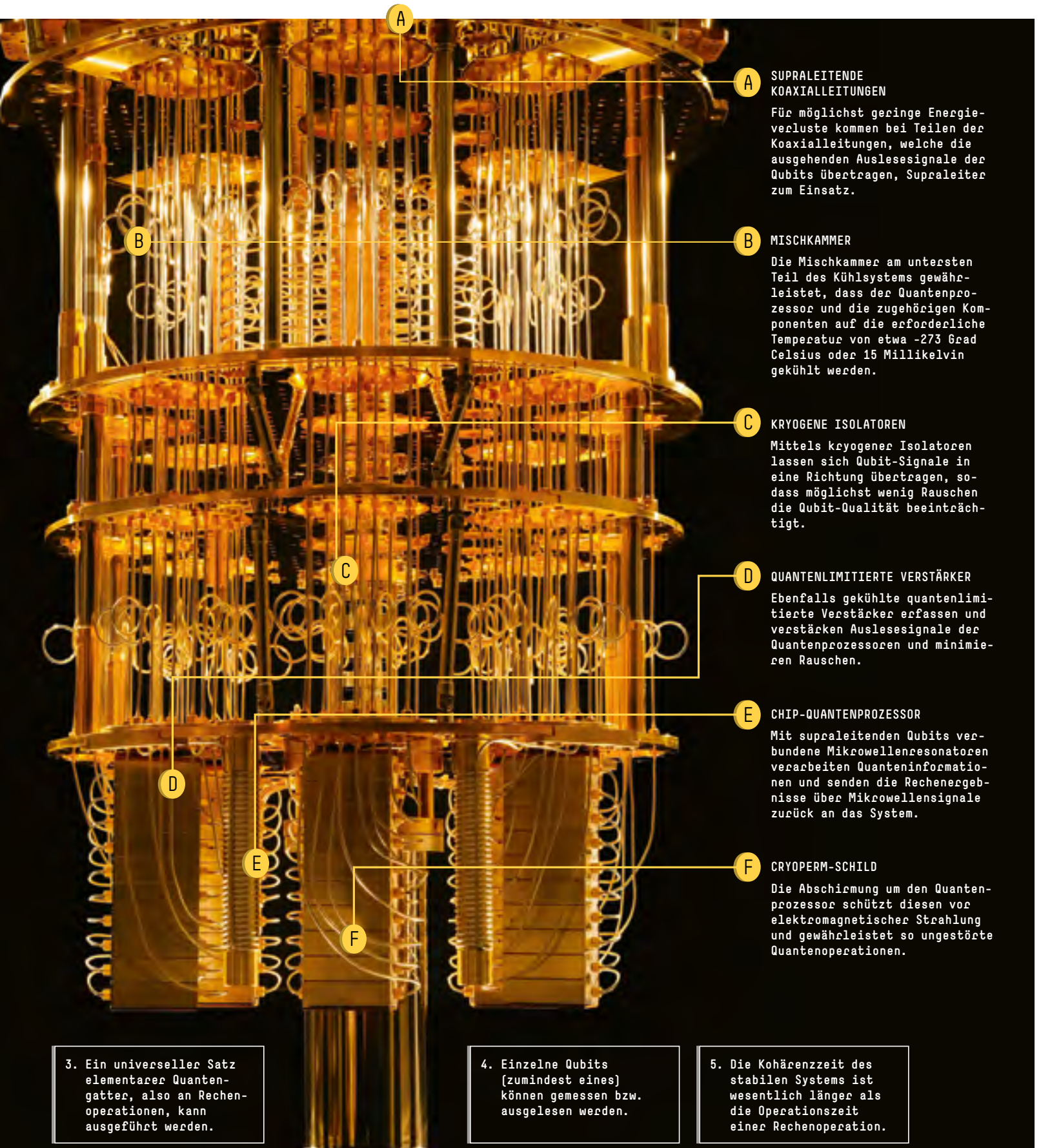
Man kann sich Qubits als rotierende Teilchen vorstellen, deren Rotationsachse sich erst auf eine Position festlegt, wenn man misst. Berechnet wird mit Korrelationen von Qubit-Zuständen.

5 Kriterien für einen Quantencomputer nach David Di Vincenzo*

1. Das System besteht aus einem skalierbaren System gut charakterisierter, also gut verstandener Qubits.

2. Es muss möglich sein, die Qubits in einen definierten Anfangszustand zu versetzen, also zu kontrollieren.

*Pionier der Quanteninformatik, Professor für Theoretische Physik an der RWTH Aachen



A SUPRALEITENDE KOAXIALLEITUNGEN
 Für möglichst geringe Energieverluste kommen bei Teilen der Koaxialleitungen, welche die ausgehenden Auslesesignale der Qubits übertragen, Supraleiter zum Einsatz.

B MISCHKAMMER
 Die Mischkammer am untersten Teil des Kühlsystems gewährleistet, dass der Quantenprozessor und die zugehörigen Komponenten auf die erforderliche Temperatur von etwa -273 Grad Celsius oder 15 Millikelvin gekühlt werden.

C KRYOGENE ISOLATOREN
 Mittels kryogener Isolatoren lassen sich Qubit-Signale in eine Richtung übertragen, so dass möglichst wenig Rauschen die Qubit-Qualität beeinträchtigt.

D QUANTENLIMITIERTE VERSTÄRKER
 Ebenfalls gekühlte quantenlimitierte Verstärker erfassen und verstärken Auslesesignale der Quantenprozessoren und minimieren Rauschen.

E CHIP-QUANTENPROZESSOR
 Mit supraleitenden Qubits verbundene Mikrowellenresonatoren verarbeiten Quanteninformationen und senden die Rechenergebnisse über Mikrowellensignale zurück an das System.

F CRYOPERM-SCHILD
 Die Abschirmung um den Quantenprozessor schützt diesen vor elektromagnetischer Strahlung und gewährleistet so ungestörte Quantenoperationen.

3. Ein universeller Satz elementarer Quantengatter, also an Rechenoperationen, kann ausgeführt werden.

4. Einzelne Qubits (zumindest eines) können gemessen bzw. ausgelesen werden.

5. Die Kohärenzzeit des stabilen Systems ist wesentlich länger als die Operationszeit einer Rechenoperation.

1 Worum geht's in dem Projekt?

Ziel ist es, die Vorteile der Quantenphysik für Anwendungen in der Bildgebung zu erforschen und erste Demonstratoren für den praktischen Einsatz zu entwickeln. Daran arbeiten sechs Fraunhofer-Institute und Partner aus der Wissenschaft.

2 Warum ist es wichtig?

In der medizinischen Bildgebung sind die Möglichkeiten bislang noch begrenzt. Quantenoptische Verfahren können Einblicke in bisher unsichtbare Bereiche erlauben und die Zerstörung von Zellen und Gewebe durch Licht mit geringerer Strahlungs-dosis verhindern. Auch bildgebende Verfahren für Materialoberflächen lassen sich künftig verlässlicher, schneller und kostengünstiger gestalten.

3 Wann wird es erste Ergebnisse geben?

Wir haben bereits erste Demonstratoren etwa für Life-Science-Anwendungen oder für eine Detektion im schwer zugänglichen Terahertz-Bereich realisiert. Weitere sollen bis Ende 2021 folgen.

Wie bringen Sie Quantenbildung in die Praxis?

Drei Fragen an Prof. Andreas Tünnermann, Fraunhofer IOF, zum Leitprojekt QUILT



► Die Vorteile: Sie verarbeiten große Datenfelder in einem einzigen Schritt, spüren Muster in den Daten auf, die klassische Computer nicht entdecken, und scheitern nicht an unvollständigen oder unsicheren Daten. Das Potenzial dieser Verknüpfung aus Künstlicher Intelligenz und Quantencomputing könnte sich schon in wenigen Jahren auf nahezu alle Bereiche unserer Gesellschaft auswirken. Neben besseren Logistiklösungen könnten die Netzwerkplanung im Energiesektor oder Portfolios im Finanzsektor optimiert werden. Darüber hinaus ließe sich das Training großer neuronaler Netze deutlich beschleunigen. Im Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies entwickelt Bauckhage mit seinem Team in einem eigenen QML-Teilprojekt bereits Quantenalgorithmen für Optimierungsprobleme, die grundlegend sind im maschinellen Lernen und in der KI. »Das erklärte Ziel ist, bei der bevorstehenden Quantencomputing-Revolution vorne dabei zu sein - und schnell industrierelevante Lösungen liefern zu können.«

Dieses Ziel verfolgt auch das Fraunhofer FOKUS in Berlin mit dem Projekt PlanQK. Gemeinsam mit 14 Partnern wollen die Forschenden eine Plattform für quantenunterstützte Künstliche Intelligenz entwickeln. Auf dieser Wissensplattform sollen sich KI- und Quantencomputing-Spezialisten, Entwickler, Nutzer, Kunden, Dienstleister und Berater über QML-Algorithmen und deren Anwendungen austauschen. Ein sehr konkretes Szenario ist, Betrug im Bankensektor nicht nur zu klassifizieren, sondern auch zu prognostizieren. Mit dem Projekt gewannen die Forschenden im September den Innovationswettbewerb »Künstliche Intelligenz (KI) als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

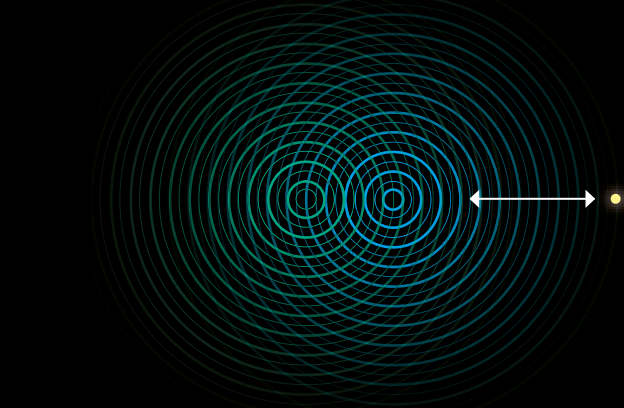
Das anwendungsbezogene Quantencomputing wird nun also sehr konkret. Werden wir alle in einigen Jahren einen Quantenrechner zu Hause oder einen Quantenprozessor im Smartphone haben? »Ein Quantenrechner wird immer nur ganz spezifische Problemstellungen lösen können und damit einen klassischen Rechner nicht ersetzen«, erwartet Hauswirth. »Wahrscheinlich ist, dass sich Cloud-Modelle

durchsetzen, sozusagen der Quantencomputer-as-a-Service, ebenso wie Mischformen aus traditionellem High-Performance-Computing und Quantencomputing.« Bis es so weit ist, werden Quantentechnologien auch in anderen Bereichen Einzug in unser Leben gehalten haben. ■



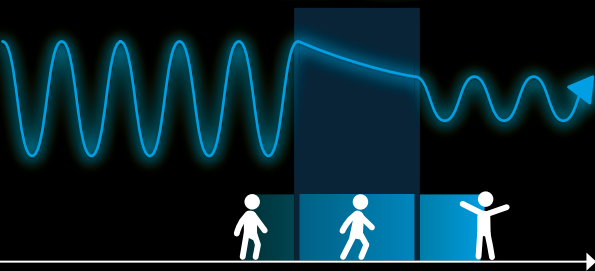
Physiker und Nobelpreisträger Erwin Schrödinger (1887-1961) erlangte nicht nur durch seine bahnbrechende Quantenforschung Berühmtheit, sondern auch durch sein Gedankenexperiment mit Katze.

Faszinierende Quantenphysik



Welle-Teilchen-Dualismus

Elementarteilchen wie Photonen oder Elektronen, sogar Atome oder Moleküle verhalten sich manchmal wie Wellen und manchmal wie Teilchen. Während ein klassisches Teilchen nur an einem Ort sein kann, breitet sich eine Welle im Raum aus und kann sich mit anderen Wellen überlagern.



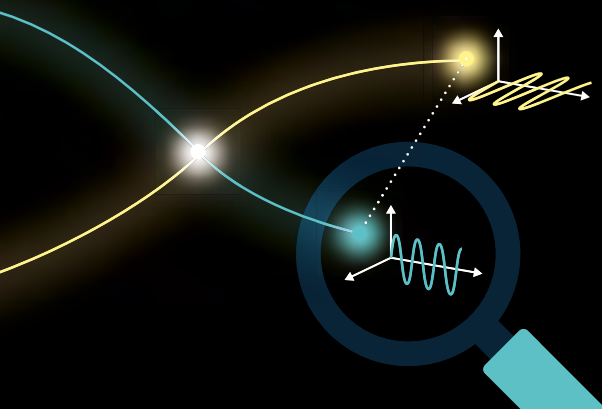
Quanten-Tunneleffekt

Teilchen können sich aufgrund ihrer Welleneigenschaften durch Energiebarrieren bewegen, als würden sie durch Wände gehen. Da Menschen aus Atomen bestehen, gibt es eine theoretische Wahrscheinlichkeit ungleich null, dass jedes einzelne Teilchen im menschlichen Körper die Potenzialbarrieren einer Wand überwindet. Der Versuch, das zu beweisen, könnte jedoch schmerzhaft werden.



Schrödingers Katze

Das vielleicht berühmteste Gedankenexperiment, um Quantenphysik zu erklären: In einer Kiste sitzt eine Katze zusammen mit einer Giftgasampulle. Durch einen Mechanismus, der durch ein radioaktives Teilchen ausgelöst wird, besteht zu jedem Zeitpunkt die Wahrscheinlichkeit, dass das tödliche Gift freigesetzt wird. Der radioaktive Zerfall bietet dabei einen idealen Zufallsgenerator für diesen Zeitpunkt. Ohne Wechselwirkung mit der Außenwelt befindet sich Schrödingers Quantenkatze also in einer Superposition, verschränkt mit dem Zustand des radioaktiven Teilchens: Sie ist quasi sowohl lebendig als auch tot. Erst wenn jemand in der Kiste nachschaut, wird das Tier auf einen von beiden Zuständen festgelegt.



Quantenverschränkung

Diesen Effekt nannte Einstein noch »spukhafte Fernwirkung«. Sind zwei Teilchen miteinander verschränkt, ergänzen sie sich immer in ihren Eigenschaften. Sie sind untrennbar verbunden, auch wenn sie Lichtjahre voneinander getrennt sind. Misst man zum Beispiel bei einem Zwillingenphoton eine vertikale Polarisation, dann ist das andere Photon sofort horizontal polarisiert. Und das, obwohl sein Zustand unmittelbar vorher noch nicht festgelegt war und kein Signal zwischen den beiden Teilchen ausgetauscht wurde.

Gar nicht mehr so spukhaft

Wer die Faszination Quanten heute schon erleben will, bekommt eine Ahnung beim Besuch im Fraunhofer IOF in Jena. Hier wird daran gearbeitet, wie sich verschränkte Quanten zum einen für eine sicherere Kommunikation und zum anderen für eine genauere Bildgebung nutzen lassen.

Text: Mandy Bartel

Erik Beckert hält ein glänzend goldenes Gerät mit zahlreichen Schläuchen und Drähten in der Hand. Die Photonenquelle produziert mithilfe eines nichtlinearen Kristalls 300 000 verschränkte Photonenpaare pro Sekunde. Diese »spukhaft« miteinander verbundenen Lichtteilchen bilden die Basis der Quantenforschung am Fraunhofer IOF. Da die Zwillingphotonen sich immer in ihren Eigenschaften ergänzen – unabhängig davon, wie weit sie voneinander entfernt sind –, braucht man nur eins zu messen, um den Zustand des anderen zu kennen. Dieser Umstand lässt sich für eine sichere physikalische Verschlüsselung nutzen, mit der man Hackerangriffen, Datenleaks, Wirtschafts- und Bankenspionage künftig zuverlässig vorbeugen könnte.

Der Ingenieur Beckert, der sich die Grundsätze der Quantenphysik selbst beigebracht hat, erklärt das Prinzip: »Mit den verschränkten Photonen erzeugen wir auf physikalischer Basis sichere Quantenschlüssel und verteilen sie via Satellit möglichst störungsfrei an die Kommunikationspartner auf der Erde. Versucht jemand, die Kommunikation abzuhören, verfällt die Verschränkung und der Eingriff ist nachweisbar.« Der erste europäische Quantenverschlüsselungssatellit soll ausgestattet mit der Photonenquelle voraussichtlich 2022 ins All starten. An der Entwicklung ist Beckert mit seinem Jenaer Team und weiteren Partnern maßgeblich beteiligt.

Interessant ist Quantenverschlüsselung heute schon vor allem für die Finanzbranche, Telekommunikationsanbieter und Regierungsorganisationen. Gemeinsam mit dem Bundesforschungsministerium und Industriepartnern starteten Fraunhofer, Max-Planck und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR in diesem Jahr eine Großoffensive

für Quantenverschlüsselung. Im Projekt QuNET soll in den nächsten Jahren ein hochsicheres Kommunikationsnetzwerk zwischen mehreren Regierungsstandorten aufgebaut werden und abhörsichere Verbindungen garantieren. Das Vorhaben soll auch den Grundstein legen, um eine gesamtdeutsche Quantenkommunikationsinfrastruktur aufzubauen. Langfristig könnte laut Beckert auch quantenkryptographisch gesichertes Online-Banking Wirklichkeit werden.

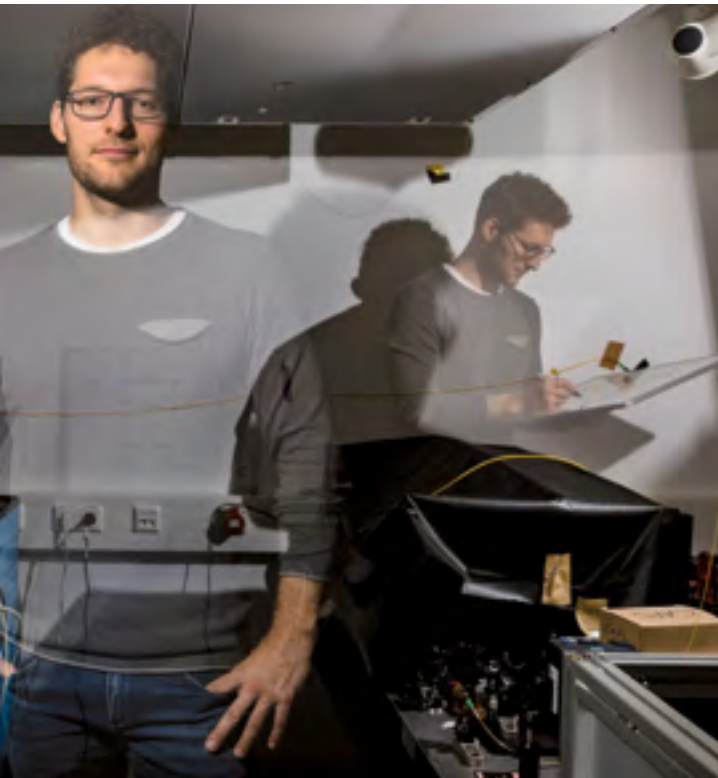
An bezahlbarer Quantenkommunikation für den Massenmarkt arbeiten heute schon 17 Partner aus ganz Europa im Projekt UNIQORN. Am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI in Berlin entwickeln Forschende dafür miniaturisierte, quantentaugliche Komponenten, die sich zu Hause künftig einfach in den Router einbauen lassen. Ein Ziel ist es, die Kosten für Quantenkommunikation um 90 Prozent zu reduzieren und sie damit Endnutzern zugänglich zu machen.

Wie verschränkte Quanten die Bildgebung revolutionieren

Beckerts Kollegen am IOF, Dr. Markus Gräfe und Marta Gilaberte Basset, nutzen die Fähigkeiten verschränkter Photonen im noch jungen Forschungsgebiet des Quantenimaging. »Mediziner kämpfen bislang mit dem Problem, dass menschliche Zellproben äußerst lichtempfindlich sind. Vor allem UV-Licht schädigt die Zellen. Das schränkt die Untersuchungszeit ein«, sagt Gilaberte Basset. Künftig könnten durch Quantenbildgebung mit minimaler Strahlungsdosis Gewebezellen viel länger mit hoher Auflösung zerstörungsfrei beobachtet und analysiert werden – sogar bei Zellprozessen, die sich über Minuten oder Stunden erstrecken.



3
Finanzbranche
Optimierung
von Finanz-
portfolios,
Risikoanaly-
sen, Betrugs-
erkennung und
-prognose,
sichere Kom-
munikation und
Datentransfer
z.B. für
Online-Banking



Dr. Markus Gräfe und sein Team arbeiten mit verschränkten Photonen, um Unsichtbares sichtbar zu machen. © Sven Döring

Können Quanten unsere Kommunikation sicher machen?

Drei Fragen an Prof. Martin Schell, Fraunhofer HHI, zu QuNet ▶

1 Worum geht's in dem Projekt?

Zusammen mit dem BMBF, der Max-Planck-Gesellschaft und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt will Fraunhofer ein abhörsicheres quantenbasiertes Kommunikationsnetzwerk zunächst zwischen Regierungsorganisationen aufbauen. Gefördert wird das Projekt vom BMBF.

2 Warum ist es wichtig?

Sicherheit ist eine Voraussetzung für die digitale Gesellschaft und Quantenverschlüsselung macht die Kommunikation wesentlich abhör- und angriffssicherer. Hier müssen wir in Deutschland eigene Kompetenzen ausbauen, um anderen nicht das Feld zu überlassen.

3 Wann wird es erste Ergebnisse geben?

Das Projekt ist auf sieben Jahre angelegt. Zunächst werden Hardwarekomponenten und technologische Grundlagen für einen Mehrbenutzerbetrieb in heterogenen Netzen entwickelt. 2026 soll gemeinsam mit Industrie und Bundesnetzbetreibern das Quantennetzwerk in Betrieb genommen werden.

Im Labor in Jena blitzen blaue Laserstrahlen zwischen aufwendigen Apparaturen auf. Gräfe erklärt: »Wir nutzen verschränkte Photonen, die das gesamte optische Spektrum von Infrarot bis Ultraviolett abdecken, in unseren mikroskopischen Systemen. Damit können wir Objekte auch in Wellenlängenbereichen sichtbar machen, die bislang unsichtbar waren. Vereinfacht gesagt, wird für die Untersuchung des Objekts ein anderer Lichtstrahl genutzt als für die Bildgebung in der Kamera. Während die einen Photonen zum zu detektierenden Objekt im unsichtbaren Wellenlängenbereich geschickt werden, werden die Zwillingphotonen im sichtbaren Spektrum von einer Kamera eingefangen. Da die verschränkten Lichtteilchen die gleiche Information in sich tragen, entsteht ein Bild, obwohl das Licht, das die Kamera erreicht, das eigentliche Objekt nie »gesehen« hat.«

Für die Physikerin und Weltraumforscherin Marta Gilaberte Basset sind solche Effekte in der Quantenwelt faszinierend. »Mit unserer Vorstellung können wir die Quantenwelt nur schwer erfassen. Dennoch erleben wir im Labor täglich, dass ihre Gesetzmäßigkeiten funktionieren. Letztlich geht es darum, die Existenz zweier unterschiedlicher Einheiten zuzulassen.« Basset glaubt an Anwendungen in der Praxis, um etwa hochqualitative Aufnahmen für die Diagnose von Krebs zu ermöglichen. Damit beschäftigt sie sich aktuell auch in ihrer Dissertation.

Da lacht der Smiley

Seine Freude an der Anwendungsentwicklung hat das Forscherteam des IOF dokumentiert – mit dem ersten Quantenvideo der Welt. Als allererstes Objekt filmten sie – ohne dass

die Kamera darauf gerichtet war! – einen Smiley: Sinnbild für den Gemütszustand der Forscherinnen und Forscher angesichts dieses Meilensteins der Quantenbildgebung.

Wirtschaftsnähe hat für das IOF-Team oberste Priorität. Als eine der wichtigsten Herausforderungen nennt Markus Gräfe, Quantentechnologie in bestehende Mikroskopie-Systeme zu integrieren. Damit will er die Hürden für Anwender aus der Industrie senken. »Kein Mensch will schließlich mit mehreren oder überdimensionierten Systemen arbeiten«, erklärt Gräfe. »Deshalb sind wir in ständigem Austausch mit Mikroskopherstellern wie Carl Zeiss und arbeiten gemeinsam an praktikablen Lösungen.« Seine Forschungsarbeit bei der Quantenbildgebung bündelt das IOF mit den Kompetenzen fünf weiterer Fraunhofer-Institute im Leitprojekt QUILT – »Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions«. Um die Anwendungsnähe der Entwicklungen sicherzustellen, ist auch ein aus mehreren Unternehmen bestehender Industriebeirat am Konsortium beteiligt. Ziel ist es, quantenbasierte Lösungen für Bildgebung, Spektroskopie und Analytik zu entwickeln.

Ein Erfolg, den Gräfe, Gilaberte Basset und ihre Fraunhofer-Kollegen bereits erreicht haben, ist ein tragbares Demonstrator-Mikroskop für Life-Science-Anwendungen. Zudem entwickelte ein Forscherteam am Fraunhofer IPM in Freiburg im Rahmen von QUILT erstmals ein Quantenspektrometer für den mittleren Infrarotbereich. Neben dem Medizinbereich lassen sich solche Ansätze auch auf andere Bereiche übertragen, zum Beispiel Materialwissenschaften. So könnten etwa in der Automobilbranche bessere Detektoren Lackschichten im Terahertzbereich genauer prüfen. ■

Neue Chancen für die Medizin durch Quantensensorik

Messen lässt sich in der Quantenwelt nicht nur mit Photonen, sondern auch mit Elektronen. Ein Forscherteam am Fraunhofer IAF in Freiburg entwickelt mit den kleinsten Teilchen genaueste Quantensensoren.

Text: Mandy Bartel

Das Grundprinzip der Quantensensorik klingt simpel: Um Atomkerne fliegen Elektronen, die sich wie ein Kreisel um sich selbst drehen. Diese Drehung heißt Spin – eine quantenmechanische Eigenschaft. Durch den Elektronenspin bildet sich ein magnetischer Dipol um das Elektron, der von anderen magnetischen Feldern angezogen oder abgestoßen wird. So entsteht der kleinste Magnet der Welt.

Für diese sogenannte Quantenmagnetometrie nutzt das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF Diamanten. Der dortige Quantenexperte Jan Jeske erklärt das Verfahren: »Wir messen die Zustände von Elektronen eines ganz bestimmten Defekts im Diamantgitter, einem sogenannten Stickstoff-Vakanz (NV)-Zentrum. Dieses NV-Zentrum erlaubt es uns, den Elektronenspin optisch zu messen. Ein Magnetfeld verschiebt die Energien der Spin-Zustände, was wir durch eine Änderung der Helligkeit messen. Dadurch entsteht der Sensor. Das Material Diamant ist dafür gut geeignet, weil es auch bei Raumtemperatur sehr stabil ist und lange Kohärenzzeiten ermöglicht. Um NV-Zentren zu erzeugen, geben wir Stickstoff-Atome in den Diamanten und erzeugen dann nebenan eine Leerstelle.«

Krankheiten besser erkennen

Enorme Fortschritte können solche Quantensensoren in der Medizintechnik bringen, zum Beispiel für eine schnellere und bessere Krebsdiagnostik. Das Freiburger Forscherteam will dafür das gängige MRT-Verfahren mit einem sogenannten Polarisator aus Diamanten verbessern. Dieser wird mit Biomarkermolekülen kombiniert,

die den Menschen vor der MRT-Untersuchung injiziert werden. Die Bildgebung wird dank dieses Verfahrens 10 000-fach empfindlicher. Quantensensorik soll auch helfen, eine der häufigsten Todesursachen zu bekämpfen. Bei der Diagnose von Herz-Kreislauf-Erkrankungen können Risiken dank der Messung kleinster Magnetfelder bei Stoffwechselprozessen des Herzgewebes besser erkannt werden. Im Projekt MetaboliQs entwickeln die Forschenden am IAF derzeit einen Diamant-Polarisator, der bei Raumtemperatur eine 160-fach höhere Effizienz, eine 40-fach schnellere und vierfach billigere Polarisation ermöglicht als bislang.

Der medizinischen Diagnostik öffnet die Quantensensorik neue Türen – sie stößt aber auch neue Tore für Industrie und Produktion auf. Zum Beispiel, um kleinste Materialrisse oder Verformungen über ihre Magnetfeldsignatur zu messen. So lassen sich künftig mikro- und nanoelektronische Bauelemente zerstörungsfrei prüfen. Um Magnetometer für solche Anwendungen zu optimieren, rief die Fraunhofer-Gesellschaft 2019 das Leitprojekt QMAG ins Leben, an dem sechs Fraunhofer-Institute und zwei Universitäten beteiligt sind.

In den nächsten zehn bis zwanzig Jahren werden wir also einige Quantensprünge in den unterschiedlichsten Bereichen erleben. Es wird möglich, Materie in all ihren Facetten zu verstehen und zu nutzen. Nicht nur Zustände, auch Interaktionen auf atomarer Ebene lassen sich mit unglaublicher Genauigkeit messen, analysieren und berechnen. Kurz: Wir können mehr messen, deshalb mehr wissen und mit diesem Wissen anders umgehen. Das Abenteuer Zukunft – es hat begonnen. ■



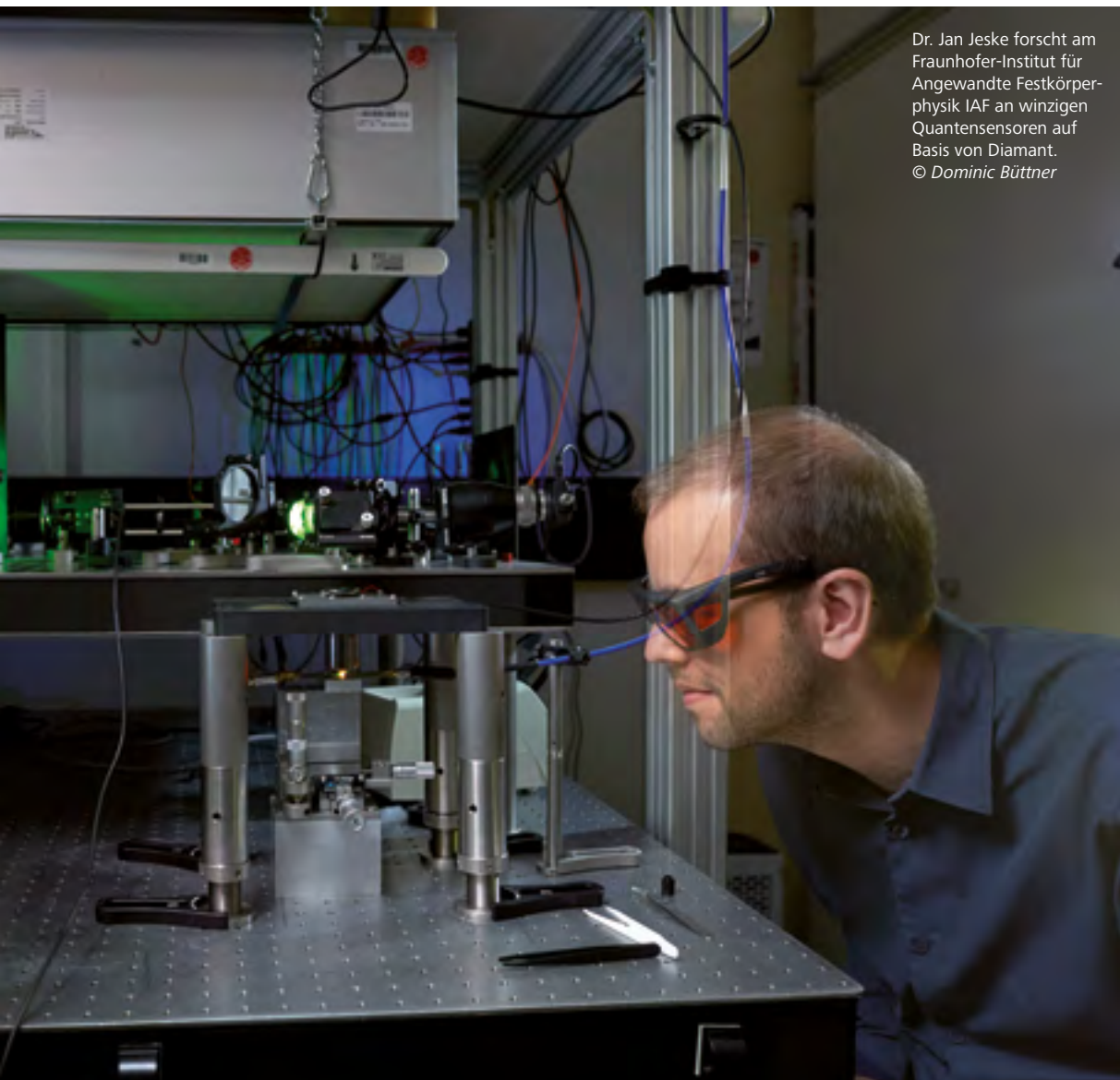
Wann werden wir auf Raumtemperatur kommen?

Drei Fragen an Prof. Oliver Ambacher, Fraunhofer IAF, zum Leitprojekt QMAG ▶

1 Worum geht's in dem Projekt? In QMag wollen sechs Fraunhofer-Institute Quantensensoren bzw. -magnetometer für industrielle Anwendungen weiterentwickeln, um kleinste Magnetfelder mit hoher Auflösung, maximaler Empfindlichkeit und bei Raumtemperatur zu messen. Dazu sollen zwei auf unterschiedlichen Verfahren basierende Demonstratoren gebaut und erprobt werden.

2 Warum ist es wichtig? Quantenmagnetometer haben zum Beispiel großes Potenzial in der Mikroelektronik: Mikro- und nanoelektrische Schaltungen lassen sich optimieren und physikalische Effekte besser verstehen. Auch in der Materialprüfung können Schäden früher und besser erkannt werden. Zudem ließen sich bessere Ergebnisse in der Prozessmesstechnik, die auf magnetischer Kernresonanz (NMR) basiert, erzielen.

3 Wann wird es erste Ergebnisse geben? Bis 2024 sollen zwei komplementäre Quantenmagnetometer realisiert sein, die bei Raumtemperatur funktionieren. Ebenso wollen wir ein kundenorientiertes Labor in den oben genannten Anwendungsbereichen aufbauen.



Dr. Jan Jeske forscht am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF an winzigen Quantensensoren auf Basis von Diamant.
© Dominic Büttner

Quantentechnologien

»Deutschland ist in einer sehr guten Ausgangsposition«

Prof. Andreas Tünnermann leitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena und ist einer der führenden Köpfe im Bereich der Quantentechnologien bei Fraunhofer.

Interview: Mandy Bartel

Herr Tünnermann, erinnern Sie sich noch, wann und bei welcher Gelegenheit Sie zum ersten Mal der Quantenphysik begegnet sind?

Das ist lange her. Bewusst fand meine erste Begegnung mit der Quantenwelt in der 6. oder 7. Klasse statt, als ich eine Hausarbeit zum äußeren photoelektrischen Effekt abzugeben hatte. Der photoelektrische Effekt ist eines der Schlüsselexperimente zur Begründung der Quantenphysik, Einstein wurde 1921 für die Erklärung des Effekts auf der Grundlage der Einführung von Lichtquanten – sogenannten Photonen – sogar mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Die Quantenwelt hat mich schon immer fasziniert und die Photonen stehen bis heute im Mittelpunkt meines Forscherlebens – ich bin ein »Laser-Mann«.

Was fasziniert Sie persönlich an der Quantenwelt?

In den 50er- und 60er-Jahren lernte man, größere Ensembles von Quanten zu kontrollieren und diese für Anwendungen zu nutzen. Man spricht in diesem Zusammenhang weltweit von der ersten Quantenrevolution. So ist der Laser realisiert worden, mit dem die Photonikbranche und damit auch ein neuer Wirtschaftszweig entstand, der unsere Gesellschaft radikal verändert hat: Denken wir nur an das Internet, das ohne Photonik nicht vorstellbar wäre. Aber auch die Grundlagen für die Mikroelektronik wurden in der ersten Quantenrevolution gelegt. Ohne deren Bauelemente würde die Welt heute im wahrsten Sinne des Wortes stillstehen. Heute fragen wir uns: Welchen praktischen Mehrwert hat es, wenn man ein einzelnes Quant kontrollieren kann? Ist damit eine ähnliche volkswirtschaftlich bedeutsame Wertschöpfung möglich?

Sie haben in den letzten Jahren einige große Quanteninitiativen für Fraunhofer auf den Weg gebracht. Wie hat die Quantenforschung am Fraunhofer IOF angefangen?

Wir forschen an Quantensystemen und deren Anwendung seit der Gründung des Instituts. So arbeiten wir beispielsweise an Lasern und untersuchen die Wechselwirkungen zwischen Licht (Photonen) und Materie. Hierbei kooperieren wir mit weltweit führenden Gruppen, die wir oftmals erst durch unsere Komponenten und Systeme zur Kontrolle von Licht zu originärer Forschung in den Quantentechnologien befähigen. An konkreten Fragestellungen der zweiten Quantenrevolution arbeiten wir seit inzwischen mehr als zehn Jahren und adressieren hier mit Partnern Aspekte der Quantenbildung, Quantensensorik, Quantenkommunikation und des Quantencomputing.

Und was sind die spannendsten Quantenprojekte derzeit?

Die Quantenkommunikation ist für unsere Gesellschaft ein wichtiges Thema, denn Sicherheit und Souveränität von Daten sind ein Grundrecht. Mit dem aktuellen Projekt QuNet wollen wir einen Beitrag zur Datensouveränität in Europa leisten und mit Partnern die Grundlagen für eine sichere Übertragung und Speicherung von Daten entwickeln. Quantentechnologien übernehmen dabei sowohl die Schlüsselerzeugung als auch deren Verteilung zwischen den verschiedenen Partnern eines Kommunikationsnetzes. Ein Beispiel für ein weiteres Projekt in diesem Umfeld der Kommunikation ist das Projekt Space EPS: In Kooperation mit dem Institut für Quantenoptik und Quanteninformation in Wien haben wir im Auftrag der European Space Agency eine Photonenquelle für einen Kommunikationssatelliten entwickelt und optimiert. Der erste Prototyp hatte die Größe eines Tisches von mehreren Quadratmetern mit vielen 100 optomechanischen Einzelkomponenten. Den Aufbau haben wir vereinfacht und auf die Größe eines Schuhkartons gebracht. Der nächste Entwicklungsschritt, der unmittelbar bevorsteht, führt auf die Größe einer Zigarettenschachtel hin. Aber mein persönliches Ziel ist das Format einer Streichholzschatel. (lacht)

4 **Materialwissenschaften**
Simulation
völlig neuer
Materialien
auf molekularer Ebene,
schnellere
Entwicklung,
genauere
Materialprüfverfahren



»Laser-Mann« Prof. Andreas Tünnermann begleiten die Quanten schon sein ganzes Forscherleben lang. © Sven Döring

In welchen Bereichen werden Quantentechnologien künftig am nachhaltigsten unser Leben verändern?

Sicherlich in der Medizin, denn Quantenbildgebung kann die Diagnostik enorm verbessern: Wir benötigen zukünftig durch den Einsatz von Quantentechnologien weniger Licht, um ein Bild aufzunehmen. Aber wie bereits erwähnt gibt es viele Felder, nicht zuletzt die Kommunikation.

Zu den vier großen Forschungsfeldern gehören Quantencomputing, -kommunikation, -imaging und -sensorik. Wo werden Ihrer Meinung nach marktrelevante Anwendungen am ehesten spruchreif?

Ich bin optimistisch, dass es in der Kommunikation, im Imaging und in der Sensorik sehr schnell reale, marktreife Anwendungen geben wird. Hier sind wir bereits in konkreten Projekten mit Unternehmen aktiv.

China schickte bereits 2016 den ersten Quantensatelliten ins All, Google bewies kürzlich wahrscheinlich die Quantenüberlegenheit. Hat Europa das Rennen um die Quantenvorherrschaft schon verloren?

Nein. Ich denke, wir sind sogar in einer sehr guten Position.

Es waren europäische Forschungsergebnisse, die das Projekt in China erst möglich machten. Wir leben in Europa von einer exzellenten Grundlagenforschung mit einer hohen Kontinuität. Denken wir nur an die Förderung durch die DFG über viele Jahrzehnte auf diesem Gebiet, die den Aufbau von wettbewerbsstarken Universitätsgruppen in der Grundlagenforschung ermöglichte. Vor allem in den Bereichen der Quantenkommunikation, -bildung und -sensorik ist auch die angewandte Forschung sehr stark. Hier gilt es heute mit der Industrie, die Mehrwerte von Quantentechnologien – im Vergleich zu konventionellen Ansätzen – zu zeigen und umzusetzen.

Was muss Deutschland tun, um den Anschluss nicht zu verlieren bei der Anwendung?

Wir brauchen in erster Linie Fachkräfte, in deren Ausbildung wir investieren müssen. Darüber hinaus müssen wir verschiedene Disziplinen noch näher zusammenbringen sowie das Wissen aus Ingenieurwissenschaften und Physik verbinden. Und wir brauchen HEUTE ein Engagement vonseiten der Industrie selbst, damit wir MORGEN innovative Produkte am Markt platzieren können.

Warum sollten sich Unternehmen heute schon mit Quantentechnologien befassen und was ist wichtig dabei?

Ohne Frage wird es für Unternehmen wichtig sein, zu verstehen, ob Quantentechnologien – im Vergleich zu bisher eingesetzten Lösungen – einen Mehrwert für ihr spezifisches Geschäftsfeld bringen. Wichtig ist es, frühzeitig Bewertungskriterien zu entwickeln, die dann zu richtigen Geschäftsentscheidungen führen. ■

IT und Sicherheit
leistungsfähigere
Rechner für
bislang unlösbare
Probleme,
abhörsichere
Kommunikationsnetze

Forschen für das große Mmmmh!

Weniger Fett? Weniger Zucker? Weniger Salz? Das Fraunhofer IVV arbeitet am gelungenen Grat zwischen Gesundheit und Genuss – und rührt vor Weihnachten besonders gern in Schokolade.

Text: Josef Seitz

Wenn dieser Papa abends Arbeit mit nach Hause bringt, kann er sich besonders beliebt machen. Für seine drei Kinder verschmelzen dann Fettsäuren, die gesättigten und ungesättigten, Micellenproteine aus Lupine oder anderen Hülsenfrüchten, Raps- und Sonnenblumenöle zu dem, worum es dem Vater den ganzen Arbeitstag lang geht: den ganz großen Genuss.

Christian Zacherl betritt das Schokoladentechnikum des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising. Gleich rechts neben der Tür hängen Laborkittel, die eindrucksvoll dokumentieren, womit sich der Lebensmitteltechnologe und Geschäftsfeldmanager für den Bereich Lebensmittel auch heute beschäftigen wird. Das Weiß ist an vielen Stellen schokoladenbraun überfärbt. Inmitten von Trommelröster und Rührwerkskugelmühle, Laborconche und Temperiermaschine, Dreivalzwerk und Dragierkessel sind die wichtigsten Arbeitsgeräte des Tages vorbereitet: die Löffel. Zusammen mit einigen Kolleginnen wird Christian Zacherl löffelweise probieren, wie nahe das Institut seinem Ziel schon gekommen ist.

»Wenn es gesund ist, aber nicht schmeckt, dann hat es keinen Wert.«

Christian Zacherl

Zwei europaweite Forschungsprojekte hat das Fraunhofer IVV Anfang des Jahres gestartet. Es geht darum, in Schokoladenfüllungen und dem klassischen Schokoauflauf fürs Frühstücksbrot den Gehalt an gesättigten Fettsäuren um ein Drittel zu verringern. Palmöl, das im Verdacht steht, das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu erhöhen, soll durch Öle ersetzt werden, die als gesünder gelten – und nachhaltiger zu produzieren sind. An die Stelle ökologisch fragwürdiger Palmölplantagen könnten verbrauchernehere Felder treten, heimische Raps- oder Sonnenblumenöle statt der Fette aus dem Regenwald. Diese sogenannten Oleogele können in der Strukturierung möglichst nahe an die Eigenschaften der ursprünglich verwendeten Fette herangeführt werden – und das Fettsäureprofil optimieren.

Das sind die Vorteile für Gesundheit, Umwelt und Klima – in der Theorie. Den entscheidenden Faktor für die Praxis nennt Christian Zacherl: »Es muss lecker sein. Wenn es gesund ist, aber nicht schmeckt, dann hat es keinen Wert.« Ende des Jahres beginnen die großen Konsumententests. Jetzt taucht der Lebensmitteltechnologe am IVV in Freising seinen Löffel in das erste Glas mit Schokocreme. »Schokoladenaufstrich – Standard mit Palmöl« verrät die Aufschrift. Es schmeckt nach dem Klassiker: Nutella. Es stehen weitere Gläser bereit für den Versuch. Der »Schokoladenaufstrich mit Rapsöl« wirkt an der Oberfläche noch sehr ölig. Der





Löffeln für den Genuss: Christian Zacherl mit seinen IVV-Kolleginnen Karin Agulla, Irene Buchmann, Wissenschaftlerin in der Arbeitsgruppe Schokoladentechnologie, und Yvonne Guckenbiehl, Doktorandin in der Arbeitsgruppe Schokoladentechnologie (v.l.). © Fraunhofer

Im Genuss führend

Deutsche lassen sich **pro Kopf 11,1 Kilogramm Schokolade im Jahr** schmecken – umgerechnet eine Tafel alle drei Tage. Damit sind die Deutschen Europas führende Schokoladenliebhaber, gefolgt von den Schweizern mit einem Pro-Kopf-Verbrauch von 9,7 Kilogramm, den Esten mit 8,83 Kilogramm und den Briten mit 8,09 Kilogramm. Besonders wenig Schokolade wird im Nachbarland Österreich konsumiert. Ein Österreicher genießt im Schnitt nur 830 Gramm im Jahr. **Die beliebteste Schokoladensorte in Deutschland** ist Vollmilch (47 %), vor Nougat und Bitter- oder Zartbitterschokolade auf Platz drei.

»Schokoladenaufstrich mit Oleogel« ist in verschiedene Gläser abgefüllt – je nach Zahl der Mahldurchgänge in der Kugelmühle, um die Konsistenz zu verändern. Wie ist die Textur? Wie die Farbe? Ist der Geschmack eher nussig, ölig – oder sogar ranzig?

Christian Zacherl hat Lebensmitteltechnologie an der TU München studiert. Seit 2005 arbeitet er am Fraunhofer IVV, forscht und entwickelt und verkostet und akquiriert neue Aufträge – und erlebt Trend um Trend in der Ernährung mit. Den Salzgehalt in Lebensmitteln zu verringern, ist gerade das große Anliegen in Frankreich und Spanien. In Deutschland geht es aktuell eher um die Reduktion von Zucker und Energiedichte. Pizza mit hohem Ballaststoffanteil, Burger mit 30 Prozent weniger Kalorien: »Wir können alles gestalten«, versichert Zacherl. Die vielleicht grundsätzlichere Bewegung hat gerade die Supermärkte erreicht: Beyond Meat, das aussieht wie Fleisch und schmeckt wie Fleisch, allerdings fleischlos und vegan hergestellt ist. Zufrieden ist der Fraunhofer-Lebensmitteltechnologe mit den Produkten im Handel noch nicht. Die Liste der Zusatzstoffe zu lang. Die Rohstoffe nicht regional genug. »Wir sind gerade dabei«, kündigt der

Lebensmitteltechnologe an, »Soja in den alternativen Fleischprodukten zu ersetzen.« Es ist ihm ein Anliegen, auch ganz persönlich. Christian Zacherl kocht gern und isst gern und ernährt sich selbst seit Jahren vegetarisch – mit einer ganz großen Ausnahme.

Im IVV-Schokoladentechnikum, jenem nüchternen Ort mit Trommelröster und Dragierkessel, tauchen die Löffel in Brotaufstriche. Von Glas zu Glas kommen Geschmack und Mundgefühl dem Original immer näher. Was eigentlich macht die Faszination Schokolade aus? »Kakaobutter ist das teuerste Fett«, beginnt Christian Zacherl noch nüchtern. Doch dann redet sich der Lebensmitteltechniker in Begeisterung und schwärmt vom Schmelzpunkt, der erlaubt, dass ein festes Produkt im Mund seine Aromastoffe freigibt – »fruchtige, nussige, metallische, einfach vielfältige Nuancen!« Es geht eben um Genuss. Auch wenn der Fraunhofer-Fachmann noch einen Tipp für die gesunde Ernährung mitgibt. »Für mich heißt gesund«, sagt Christian Zacherl, »ausgewogen, regional, selbst gekocht und in Gesellschaft gegessen.« Da freut sich der Vegetarier dann auch auf die große Ausnahme im persönlichen Speiseplan: Es ist die Gans zu Weihnachten. ■



Die Revolution kommt tröpfchenweise

Zehn Jahre Forschung, eine Ausgründung – und ein ganz großer Schritt für die Pharmaindustrie.

Text: Eva Rathgeber

»Wir können die Anzahl an Experimenten massiv erhöhen und Kosten sparen.«

Andreas Traube,
Fraunhofer IPA

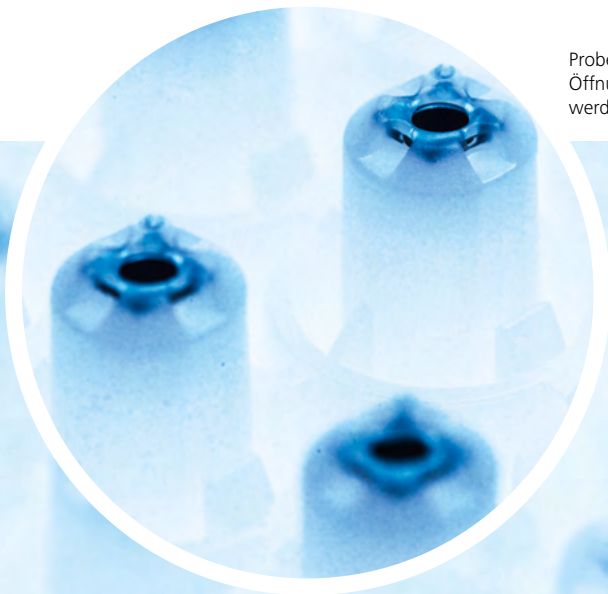
Ein Antibiotikum, das punktgenau passt – ganz ohne das übliche pauschale Durchspülen des Körpers mit einem Breitbandantibiotikum? Eine Tumorbehandlung mit optimierter Substratzusammensetzung – weil das Chemotherapeutikum in verschiedenen Konzentrationen auf Zellkulturen des Patienten getestet ist? Die Möglichkeit, lebende Zellen genau und kontrolliert aufzubringen – weil die Technologie ihre Vitalität bewahrt? I-DOT heißt die Antwort auf diese drei Anwendungsfragen. Und auf viel mehr. Mancher spricht von einer Revolution, gerade für die Pharmabranche.

Für Andreas Traube bedeuten die vier Buchstaben einen Großteil seines Arbeitslebens. Zehn Jahre Forschung stecken hinter der »Immediate Drop on Demand Technology«, kurz: I-DOT. Den heutigen Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA beschäftigte die Frage schon als junger Wissenschaftler: Wie lassen sich berührungslos, also ohne Pipette, aus Flüssigkeiten Proben zur Untersuchung biologischer Eigenschaften in sehr geringer Menge entnehmen? Ihn beschäftigte das Problem vor allem bei Mikrotiterplatten, wie sie zur Untersuchung biologischer Eigenschaften eingesetzt werden. »In der Biologie ist jede Berührung schlecht, da sie eine Kontamination auslösen kann«, erläutert der Diplomingenieur. Damals wurden am Fraunhofer IPA Studienarbeiten zu dem Thema ausgeschrieben. Dabei setzte sich Tobias Brode, heute Geschäftsfeldleiter Medizin und Biotechnik am Institut, mit seiner Abschlussarbeit durch und wurde Mitglied des Fraunhofer-Wissenschaftlerteams, das am I-DOT-Verfahren arbeitet.

»Es ist schön«, sagt Traube, »die Entwicklung eines Projekts von den ersten Gehversuchen bis hin zum Verkauf zu verfolgen.« Das Prinzip seiner Entwicklung: Durch das Anlegen eines Druckimpulses auf der Oberseite eines Bohrlochs bildet sich ein Nanoliter-Tröpfchen, das kontaktlos in oder auf ein beliebiges Ziel abgegeben (dispensiert) werden kann. Mit einem achtfach parallelen Dosierkopf können aus jeder Einzeldüse Tropfen von circa einem Nanoliter bis zu 600 Mal pro Sekunde abgegeben werden. Damit lassen sich Durchsätze in einem Volumenbereich zwischen 10 und 1000 Nanolitern realisieren.

Der Marktvorteil: »Das Verfahren ermöglicht es, viele verschiedene Flüssigkeiten extrem schnell und in äußerst geringer Dosierung zu übertragen«, erläutert Andreas Traube. »Wir können so die Anzahl an Experimenten massiv erhöhen und Kosten sparen.« Übliche Massenversuchsreihen waren bislang abhängig von Pipettier-Robotern, die bei kosteneinsparenden Flüssigkeitsmengen von weniger als einem Mikroliter an ihre Grenzen stoßen. Die üblichen 3600 Pipettierschritte lassen sich mit I-DOT erheblich reduzieren; außerdem verringert sich der Materialeinsatz mit dem Gerät auf ein Fünftel.

Im Jahr 2016 hat sich die Dispendix GmbH als Spin-off des Fraunhofer IPA gegründet und wurde Ende 2018 vom schwedischen 3D-Bioprinting-Unternehmen Cellink übernommen. Cellink erhofft sich durch die Inklusion der Produktpalette und Technologie von Dispendix einen entscheidenden Vorteil in der Herstellung von Mikrogewebe. Die Kooperation mit Fraunhofer bleibt bestehen. Der Lizenzvertrag über die I-DOT-Patente läuft noch bis 2028 weiter. An der gemeinsamen Entwicklung weiterer Technologien, besonders in den Bereichen Zellvereinzelnung und digitale Tropfenvermessung, wird intensiv gearbeitet. ■



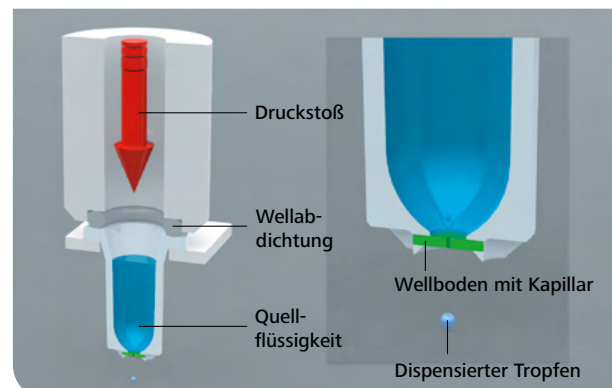
Probengefäße für den Einsatz im I-DOT. Dank einer kleinen Öffnung im Boden kann eine Flüssigkeit kontaktlos dispensiert werden. © Rainer Bez/Fraunhofer IPA



Das I-DOT-Gerät lässt sich sehr einfach via Touchscreen programmieren. © Dispendix GmbH



Automatisiertes Beladen des I-DOT. Die einfache Einbindung in komplexe biologische Prozesse wird durch standardisierte Geräteschnittstellen ermöglicht. © Heike Quosdorf/Fraunhofer IPA



Funktionsprinzip des I-DOT: Durch das Anlegen eines Druckimpulses auf der Oberseite eines Bohrlochs bildet sich ein Nanolitertröpfchen, das kontaktlos in oder auf ein beliebiges Ziel abgegeben werden kann. © Fraunhofer IPA

Ihr Kinderlein – wartet?

Eine neue EU-Verordnung soll Medizinprodukte sicherer machen – gefährdet aber gleichzeitig die Versorgung von Kindern und Patienten mit seltenen Erkrankungen. Das Fraunhofer ITEM arbeitet daran, die Folgen zu mildern.

Text: Christine Broll

Jedes hundertste Baby in Deutschland kommt mit einem Herzfehler auf die Welt. Lebenswichtig für die kleinen Patienten sind kindgerechte künstliche Herzklappen, Stents, Katheter und Herzschrittmacher. Doch diese Hilfsmittel drohen immer mehr zur Mangelware zu werden. Der Grund: Nach der EU-Medizinprodukte-Verordnung (Medical Device Regulation) müssen alle bisher auf dem Markt befindlichen Medizinprodukte spätestens bis Mai 2024 regulatorisch neu bewertet werden – Skalpelle und Endoskope genauso wie Hüftimplantate, Herzschrittmacher oder Herz-Lungen-Maschinen. Der Branchenverband BVMed rechnet damit, dass die Hersteller rund 30 Prozent ihrer Produkte nicht über diese Hürde hieven. Darunter sind vor allem Produkte für kleine Patientengruppen, wie zum Beispiel Neugeborene.

Um die Auswirkungen zu mildern, hat die EU drei Großprojekte gestartet. Das Projekt MDOT (Medical Device Obligations Taskforce) wird vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover geleitet. Für Projektleiter Dr. Ulrich Froriep ist die EU-Verordnung ein zweischneidiges Schwert: »Habe ich eine häufige Erkrankung, werde ich in Zukunft mit sehr sicheren Medizinprodukten versorgt werden. Leide ich dagegen an einer seltenen Krankheit, kann es sein, dass die entsprechenden Heilmittel in Europa bald nicht mehr zur Verfügung stehen.«

Seit Mai 2017 gilt die Verordnung in der gesamten EU – jetzt werden die Folgen immer spürbarer. Auslöser für die Novellierung der Zulassung von Medizinprodukten war der Skandal um minderwertige Brustimplantate, der 2009 aufgedeckt worden war. Das französische Unternehmen Poly Implant Prothèse PIP hatte billiges Industriesilikon verwendet. Die Silikonkissen rissen oft schon nach kurzer Zeit und führten zu Infektionen. Allein in Frankreich waren 30 000 Frauen betroffen.

Jetzt müssen sich alle Zertifizierungsstellen neu akkreditieren. Von den bisher 58 waren bis Ende Oktober erst vier nach dem neuen Recht arbeitsfähig: zwei in Deutschland, eine in Italien und eine in Großbritannien. Die Hersteller müssen sich auf lange Wartezeiten einrichten. Außerdem müssen wesentlich mehr Daten und Dokumente vorgelegt werden. Gestiegen sind vor allem die Anforderungen an die technische Dokumentation und an das Qualitätsmanagement des Herstellers. Da auch die Einstufung in Risikoklassen neu geregelt ist, werden für wesentlich mehr Produkte klinische Studien verlangt.

»Für die deutsche Medizintechnik-Branche, zu der vor allem kleine und mittelständische Unternehmen gehören, ist das eine riesige Herausforderung«, erläutert Fraunhofer-Forscher Froriep. »Die Firmen überlegen ganz genau, bei welchen Produkten sie sich die Investitionen in klinische Studien überhaupt leisten können.«

Das Leistungszentrum Translationale Medizintechnik, in dem das Fraunhofer ITEM unter anderem mit der Medizinischen Hochschule Hannover zusammenarbeitet, ist auf vielen Ebenen aktiv, um die Versorgung der Patienten mit Medizinprodukten sicherzustellen. Für Hersteller werden beschleunigte Testverfahren entwickelt und angeboten. »Gemeinsam mit Verbänden engagieren wir uns auch auf politischer Ebene, um die Entscheidungsträger für das Thema zu sensibilisieren und Verbesserungen zu erreichen«, erklärt der Leiter des Leistungszentrums Prof. Theodor Doll vom Fraunhofer ITEM. »Auf EU-Ebene arbeiten wir in zwei Projekten, bei denen Open Innovation Test Beds für die Prüfung von Medizinprodukten entwickelt werden.«

Mit dem EU-Projekt MDOT will Projektleiter Ulrich Froriep eine Plattform aufbauen, die die Unternehmen bei der Zulassung ihrer Produkte unterstützt. Dazu arbeitet das Fraunhofer ITEM seit Januar 2019 mit zwölf Partnern aus sechs Ländern

Viel Sicherheit für Patienten mit häufigen Erkrankungen – viele Probleme für alle anderen?



Ein gesundes Neugeborenes – doch jedes 100. Baby in Deutschland kommt mit einem Herzfehler zur Welt.
© Dina Giangregorio/
F1online

Marktführer in Europa

Die deutsche Medizintechnik-Industrie ist führend in Europa und auf dem Weltmarkt sehr erfolgreich. Die Exportquote liegt derzeit bei rund 65 Prozent. Im Durchschnitt investieren die Unternehmen rund neun Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Die Branche ist mittelständisch geprägt und beschäftigt in Deutschland über 200 000 Menschen. Das sind doppelt so viele Beschäftigte wie in der Stahlindustrie. Der Branchenverband BVMed rechnet damit, dass infolge der Medizinprodukte-Verordnung zehn Prozent der Unternehmen vom Markt verschwinden.

zusammen. Gefördert wird das Projekt mit 8,3 Millionen Euro durch die EU-Kommission.

Die geplante Online-Plattform soll den Herstellern den für sie passenden Weg durch den Verordnungsdschungel weisen. Man braucht nur einzugeben, welches Medizinprodukt man auf den Markt bringen möchte, und erfährt dann detailliert, welche Untersuchungen und Daten man für die Zulassung benötigt.

Über die Plattform soll auch die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Firmen gefördert werden. Vorbild dazu ist die EU-Chemikalienverordnung REACH – genauer gesagt, der Umgang der chemischen Industrie mit dieser 2007 in Kraft getretenen Vorschrift. »Bei der REACH-Verordnung haben sich große Hersteller zusammengetan, um in Konsortien neue Grundstoffe auf Sicherheit zu testen«, verdeutlicht Fropiep. »Bei Medizinprodukten könnten die Hersteller zum Beispiel Tests verschiedener Materialien gemeinsam durchführen oder vorhandene Daten gegen eine Gebühr teilen.«

»Wir werden einen neuen Medizintourismus erleben«

Wie die Plattform aussehen könnte, erproben die Partner zurzeit an drei Beispielen: an Inhalatoren für Frühgeborene, aktiven Neuroimplantaten und der Beschichtung von Hüftimplantaten. Das Teilprojekt zu den Inhalatoren für Frühgeborene leitet Dr. Gerhard Pohlmann am Fraunhofer ITEM. »Mit Inhalatoren kann Frühchen mit unreifen Lungen das für ihr Überleben wichtige Surfactant schonend verabreicht werden«, verdeutlicht Pohlmann. »Bislang wird das Surfactant in flüssiger Form über einen Schlauch zugeführt, was sehr belastend ist.« Das MDOT-Projekt macht die Zulassung dieser hochkomplexen Geräte überhaupt erst möglich. Denn bei dem kleinen Marktvolumen sind die hohen Kosten für die Zulassungsprüfungen von einem einzigen kleinen oder mittelständischen Unternehmen kaum tragbar.

Um Hochrisiko-Produkte geht es bei TBMED, dem zweiten EU-Projekt, an dem das Fraunhofer ITEM beteiligt ist. Zu den Hochrisiko-Produkten gehören zum Beispiel künstliche Hornhaut für das Auge, künstlicher Knochenersatz oder automatische Insulinpumpensysteme. Ziel ist es, die Innovationskraft kleiner und mittlerer Hightech-Unternehmen zu stärken und sie im globalen Wettbewerb zu unterstützen. Das Fraunhofer ITEM führt bei dem Projekt Biokompatibilitäts-Untersuchungen durch, zum Beispiel Toxizitätstests in Zellkulturen.

Eine Befürchtung bleibt Ulrich Fropiep trotz dieser Projekte und Initiativen für Europa: »Wenn innovative Produkte zuerst in den USA zur Verfügung stehen, werden wir einen neuen Medizintourismus erleben.« ■

Die Ökobilanz des Weihnachtsbaums



01: Wachstumsphase

10 Jahre

Faktor Zeit

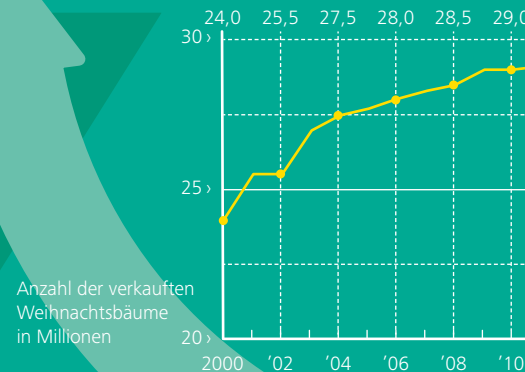
Zehn Jahre kann es dauern, bis ein Weihnachtsbaum die für den Verkauf gewünschte Größe erreicht hat.



12 Min.
Arbeitsaufwand pro Baum

Faktor Arbeit

Für jeden seiner Bäume investiert der Produzent durchschnittlich etwa zwölf Minuten. Der Arbeitsaufwand für einen Hektar beträgt jährlich 80 Stunden und besteht größtenteils aus Handarbeit.



04 Faktor: Entsorgung

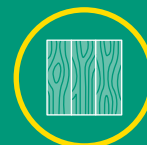
Deutschlandweit sammeln Kommunen die Weihnachtsbäume ein. Was dann passiert, unterscheidet sich von Ort zu Ort. In Berlin liefern sie in Biomassekraftwerken Strom und Fernwärme. In Leipzig werden die Weihnachtsbäume kompostiert und später zu Humus, in München werden sie teilweise zu Spanplatten verarbeitet. Wie auch bei Gartenabfällen ist eine Entsorgung im Wald nicht erlaubt. Die nicht verkauften Restbestände werden oft an Zoos abgegeben.



Energetische Verwertung



Kompostierung



Möbel / Baustoffe



Zoo



Keine Entsorgung im Wald



02 Faktor: Transport

Regionaler Verkauf

Der Trend zur Regionalität verstärkt sich – auch beim Weihnachtsbaum. Fast jeder dritte Baum wird inzwischen direkt beim Anbaubetrieb gekauft. Kürzere Wege, besser fürs Klima.



30 %
Straßenhandel



27 %
beim Produzenten



24 %
Supermarkt / Baumarkt

Online-Verkauf

Der Online-Weihnachtsbaum ist immer noch ein Nischenprodukt – obwohl das Angebot immer umfangreicher und komfortabler wird. Weihnachtsbäume können mittlerweile schon geschmückt ins Wohnzimmer geliefert werden.



<1 %
der Weihnachtsbäume werden online verkauft

Der deutsche Weihnachtsrekord

25 m

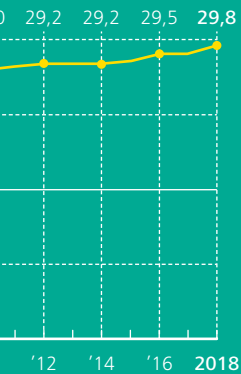


München

2018 stand Deutschlands höchster Weihnachtsbaum in Dortmund, gefolgt von Bäumen in Frankfurt und München.

Für viele ist er unverzichtbar

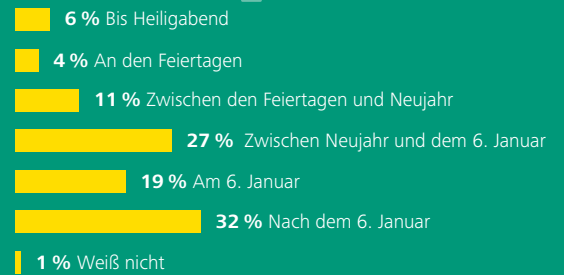
2018 wurden in Deutschland fast 30 Millionen Weihnachtsbäume gekauft.



03 Faktor: Alle Jahre wieder

Nutzungsdauer

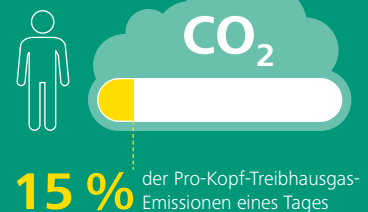
Rund 10% der deutschen Haushalte bauen ihren Weihnachtsbaum bereits vor Heiligabend oder an den Feiertagen wieder ab. Für viele ist es jedoch Tradition, den Baum bis zum Dreikönigstag stehen zu lassen.



Die Alternative Kunststoffbaum

Über ein Drittel der aufgestellten Weihnachtsbäume besteht mittlerweile aus Kunststoff. Bei der Herstellung, dem Transport und der Entsorgung wird bei Kunststoffbäumen mehr CO₂ als bei Natur-Weihnachtsbäumen freigesetzt. Wird der Kunststoffbaum mehrfach genutzt, rechnet er sich hinsichtlich

der CO₂-Bilanz nach 4–7 Jahren. Bei Natur-Weihnachtsbäumen ist der Transportweg für die CO₂-Bilanz entscheidend. Allerdings entspricht ein Weihnachtsbaum nur 15% der durchschnittlichen Pro-Kopf-Treibhausgas-Emissionen eines Tages.



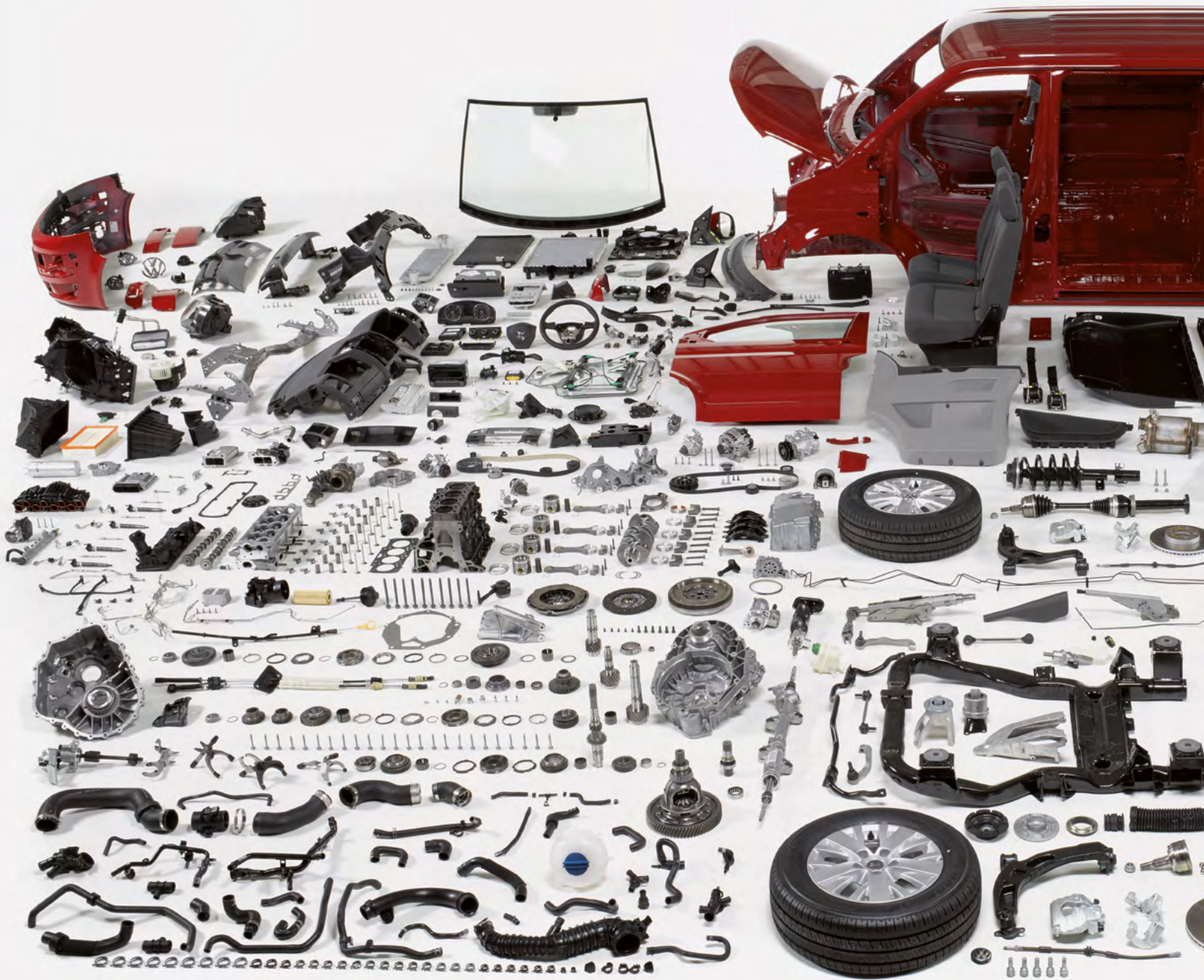
32 % Kunststoff-Weihnachtsbäume



68 % Natur-Weihnachtsbäume



Ein Auto als Puzzle: Vor allem Elektronikbauteile könnten die Weltraumfahrt bezahlbarer machen. © Volkswagen AG





Vom Auto ins All

Raumfahrt ist teuer. Viele Bauteile in Satelliten und Raumkapseln sind Spezialanfertigungen, die vor dem Start aufwendige Testreihen durchlaufen. Ein gemeinsames Projekt des Fraunhofer INT und der Raumfahrtagentur ESA soll das ändern. Schon bald könnten Standardbauteile aus der Autoindustrie die Reise ins All antreten.

Text: Mehmet Toprak

Das Labor wird geräumt, Sicherheitsbestimmungen. Danach kann es losgehen. Der Kobalt-60-Strahler wird aktiviert. Der Strahler ist auf eine Platine gerichtet, die etwa so groß ist wie ein DIN-A4-Blatt. Einen ganzen Tag lang wird er nun die Elektronik mit hochenergetischen Gammastrahlen beschießen. Übersteht die Platine das Strahlengewitter schadlos, dann hat sie gute Chancen, sich über weitere Funktionsprüfungen und Analysen für eine ganz besondere Mission zu qualifizieren. Dann könnte das Standardbauteil aus einem Mittelklassewagen die Reise in den Weltraum antreten – vom Auto ins All.

Genau so werden die Tests ablaufen, mit denen das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT das Projekt RACOCO startet. Der Name steht für »Radiation characterization and functional verification of COTS components for space applications«. COTS wiederum bedeutet »Commercial Off the Shelf«, Standardkomponenten aus der Industrieproduktion. Und genau um diese geht es im Projekt. Ihr Einsatz würde die Kosten spürbar senken. Im ersten Schritt sollen COTS identifiziert werden, die für den Flug ins All infrage kommen. Die INT-Forscher setzen auf Komponenten aus der Autoproduktion, weil hier höhere Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit gelten. Zudem müssen auch kleine Änderungen im Produktionsprozess dokumentiert werden, das macht die Herstellungsverfahren transparent. ►

RACOCO heißt das Projekt. Damit will Fraunhofer Standardkomponenten aus der Industrieproduktion identifizieren, die sich für den Flug ins All eignen.



Ungeahnte Höhenflüge: Ihre Satelliten und Raumkapseln will die ESA künftig mit Komponenten aus der Industrieproduktion bestücken. © SpaceX

»Die Testprozeduren zu mehr Effizienz verschlanken.«

Dr. Michael Steffens,
Fraunhofer INT

► Im nächsten Schritt werden die Komponenten getestet. Sind sie der permanenten kosmischen Strahlenbelastung in der Erdumlaufbahn oder im All gewachsen? Oder sinkt ihre Leistung schnell ab? Kann der Aufprall eines einzelnen hochenergetischen Teilchens einen Defekt auslösen? Solche tückischen Single-Event-Effekte werden beispielsweise durch Sonnenwinde verursacht. Doch damit nicht genug. »Ein wesentliches Ziel ist, die Testprozeduren zu mehr Effizienz zu verschlanken«, erklärt Fraunhofer-Forscher Dr. Michael Steffens, der Mann, der gewissermaßen dafür zuständig ist, die COTS-Bauteile »flugfertig« zu machen.

Zwei Probleme der Raumfahrt – auf einem Weg zu lösen?

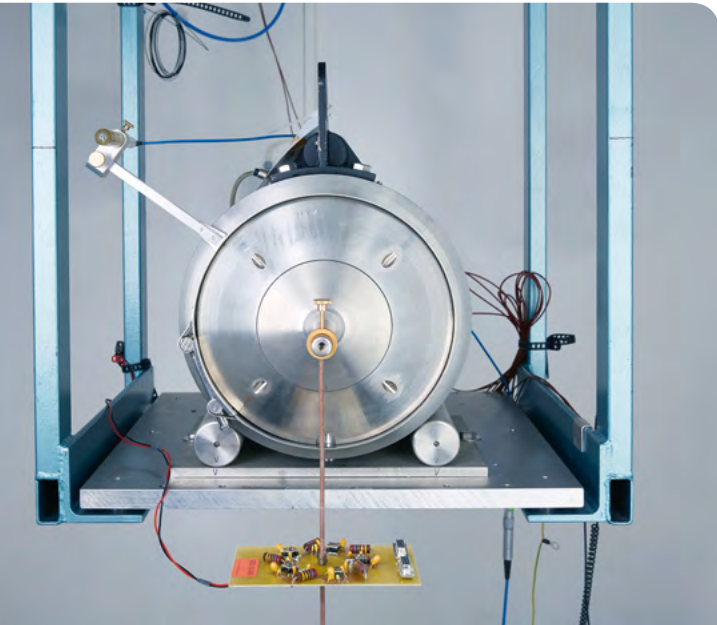
Mit seinem zwölfköpfigen Team plant, konzipiert und realisiert Steffens die Tests am INT in Euskirchen, in der Nähe von Köln. In der Abteilung NEO (Nukleare Effekte in Elektronik und Optik) arbeiten Forscherinnen und Forscher unter Hochdruck daran, das Projekt voranzubringen. Dazu steht im Labor nicht nur die Kobalt-60-Quelle bereit; auch diverse Laser und eine Reihe von Hightech-Messgeräten warten auf den Einsatz.

Den Anstoß für das ehrgeizige Vorhaben gab die Europäische Weltraumorganisation (ESA), in deren Auftrag die INT-Wissenschaftler nun aktiv werden. Ansprechpartner für das Fraunhofer-Team ist Gianluca Furano. Er arbeitet seit 17

Jahren als Computer Engineer in der Data Systems Division bei der ESA. Fast genauso lang beschäftigt er sich schon mit dem Thema Standardkomponenten in der Raumfahrt. Die Entscheidung, das Forschungsprojekt in die Hände von Fraunhofer zu geben, fiel der ESA leicht. Nicht nur das Hightech-Equipment des NEO-Teams, vor allem dessen Expertise haben die ESA-Verantwortlichen offensichtlich überzeugt. Furano sagt: »Wir pflegen schon seit Jahren eine produktive Partnerschaft mit Fraunhofer. Im Bereich der Strahlentests sind die Kollegen vom INT einfach die besten.« Michael Steffens drückt das nüchterner aus: »Im Bereich der Dosimetrie, also der präzisen Dosierung der Bestrahlung sowie der Messungen, sind wir europaweit führend.«

Das Projekt soll einen entscheidenden Beitrag leisten, gleich zwei Probleme der Raumfahrt zu lösen. Bislang werden bei Missionen fast nur sogenannte HiRel-Bauteile (High Reliability) verwendet, die in kleinen Stückzahlen in eigenen Produktionsstraßen hergestellt werden. Das macht sie teuer. Zudem muss jede Charge für sich auf Strahlenhärte getestet und zertifiziert werden. Die Prüfroutinen dauern manchmal Jahre. Ist eine Komponente endlich bereit für den Start, dann ist sie technisch meistens nicht mehr auf dem neuesten Stand. Einfach ausgedrückt: Die Weltraummissionen sind zu teuer und nutzen veraltete Technik.

Das wollen der promovierte Festkörper- und Nuklearphysiker Steffens und sein Team ändern. Furano setzt große Hoff-



Härtetest fürs All: Der Kobalt-60-Strahler beschießt die Platine über viele Stunden mit energiereichen Gammastrahlen. © Fraunhofer INT



Messgeräte im INT-Labor: Die Expertise bei der Dosimetrie und viel Erfahrung machen die Forscher vom Fraunhofer INT zum idealen Partner für die ESA. © Fraunhofer INT

nungen in das Projekt: »Wir wollen die Tests beschleunigen, damit wir mit aktueller State-of-the-Art-Technik ins All starten können. Das gibt unseren Missionen einen enormen Schub.«

Ein Schub, der dringend nötig ist. Die Welt der Weltraumfahrt hat sich verändert. Einst gab es wenige große Behörden als Platzhirsche: NASA für die USA, ESA für Europa oder Roskosmos für Russland. Inzwischen mischen neue, finanzstarke Unternehmen mit. Vor allem Blue Origin von Amazon-Gründer Jeff Bezos und SpaceX von Tesla-Chef Elon Musk setzen die klassischen Raumfahrtagenturen unter Druck. »Der Markt ist einfach größer geworden, deshalb müssen wir auch unsere Aktivitäten verstärken«, formuliert ESA-Mann Furano diplomatisch.

Aber wie ist es möglich, die Tests zu beschleunigen, ohne dass die Zuverlässigkeit der Ergebnisse darunter leidet? Schließlich gilt für alle Komponenten im Weltraum das Gebot der Null-Fehler-Toleranz. Satelliten oder Raumkapseln lassen sich auf ihrer einsamen Reise durchs All nun mal nicht reparieren. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich bei fast allen Elektronikkomponenten im Automobilbau um hochintegrierte Produkte handelt, die ganz verschiedene Funktionen und Module auf einer Platine vereinen.

Das Fraunhofer-Team setzt auf Frühindikatoren. Die Komponenten werden einem schnellen Vortest unterzogen. Dabei sehen sich die Forscher nur eine bestimmte Einzelkom-

ponente auf dem Modul an, etwa den Prozessor. Mit präzise fokussierten Gammastrahlen wird dann nur dieser eine Chip traktiert. Fällt der Chip aus oder verliert er an Leistung, dann können die Forscher das Bauteil sofort aussortieren. Für den Einbau ins Auto ist es gut genug, für den Ausflug ins All nicht. »Ausführlich getestet werden dann nur noch die Bauteile, die den Eingangstest überstanden haben. Das beschleunigt den Testparcours erheblich«, erläutert Steffens.

Himmlische Aussichten für Autobauer?

Der Boom bei Weltraummissionen, die sich künftig nicht nur auf den Start Tausender neuer Satelliten beschränken, sondern Flüge zum Mond und sogar den Trip zum Mars anpeilen, eröffnet vielleicht auch für die Zulieferer der Autobranche himmlische Aussichten. Sie könnten das ein oder andere Elektronikmodul künftig an Anbieter aus dem neuen Space-Markt verkaufen.

So weit ist es noch nicht, doch sowohl das Fraunhofer-Team als auch die ESA wollen das Projekt schnell vorantreiben. ESA-Manager Furano hofft, dass erste konkrete Ergebnisse schon gegen Ende 2020 vorliegen. »Dann könnten Anfang 2021 erste COTS-Komponenten mit Satelliten oder Raumkapsel ins All fliegen«, sagt Furano. Selbst bei der geplanten Mars-Mission könnten Standardkomponenten genutzt werden, und sei es nur als WLAN-Hotspot für die Wissenschaftler auf der Mars-Station. ■

»Im Bereich der Strahlentests sind die Kollegen vom INT einfach die besten.«

Gianluca Furano, ESA

Kleines Tier,
ganz groß:
Hermetia
illucens,
die Schwarze
Soldatenfliege,
wird nur
bis zu zwei
Zentimeter
groß. Als
Tierfutter
der Zukunft
könnte sie
dennoch eine
gewaltige
Rolle spielen
- und Regen-
wälder und
Klima schützen
helfen.

© ddp-images



Wie aus Fliegenlarven ein nobles Mahl wird

Regenwälder werden für den Soja-Anbau gerodet, Meere wegen des Fischmehls überfischt. Das Fraunhofer IME hat eine nachhaltige Lösung für wertvolles Protein erarbeitet. Nun muss die Soldatenfliege nur noch die Ekelhürde nehmen.

Text: Christine Broll

Andreas Vilcinskas spricht gerade sehr oft mit Investoren und Bankern. Der Professor trifft sie in Singapur, in London oder bei sich zu Hause in Gießen. Und fast immer gibt Vilcinskas Antwort auf dieselbe Frage. Sollen wir, wollen die Investoren wissen, unser schönes Geld wirklich in eher unansehnlichen Tieren anlegen?

»Insekten werden das Tierfutter der Zukunft sein, sie ermöglichen auch eine nachhaltige und klimaschonende Produktion von tierischem Protein«, versichert der Professor dann. Andreas Vilcinskas leitet den Institutsteil Bioressourcen des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME. Sein Spezialgebiet ist die Insektenbiotechnologie. Und er ist fest überzeugt, dass die Forschungsrichtung, die er maßgeblich geprägt hat, in der Praxis angekommen ist – wann, wenn nicht jetzt: »Die Regenwälder werden für den Soja-Anbau gerodet, die Meere zur Gewinnung von Fischmehl überfischt«, befindet Andreas Vilcinskas und bezeichnet die Tierfutterproduktion als Ursache größter ökologischer Schäden. Die Lösung? Insekten. Sie liefern wertvolle Proteine und Fette – und das mit einem minimalen ökologischen Fußabdruck. Und, was die Investoren besonders interessiert: Insektenfarmen sind auch ökonomisch äußerst interessant.

Mitte 2020 wird Andreas Vilcinskas und seinem Team ein 30 Millionen Euro teurer Neubau in Gießen zur Verfügung stehen. Das je zur Hälfte vom Land Hessen und dem Bund finanzierte Gebäude bietet Platz für hundert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und verfügt neben Laboren auch über ein Gewächshaus für die Zucht von Insekten. In diesem neuen Fraunhofer-Institut für Bioressourcen wird die ganze Bandbreite der Insektenbiotechnologie erforscht. Die sechsbeinigen Tiere sind nicht nur ideale Proteinlieferanten. Sie sind auch eine kaum erschöpfliche Quelle von Naturstoffen, die in Medizin und Pflanzenschutz nützlich sein können.

Bestens bewährt zur Herstellung von Tierfutter haben sich die Larven der Schwarzen Soldatenfliege *Hermetia illucens*. Die bis zu zwei Zentimeter langen Fliegen kommen weltweit in tropischen und subtropischen Regionen vor, auch in Südeuropa und Teilen des Balkans. Die weltgrößte Anlage zur Produktion der Schwarzen Soldatenfliege entsteht aktuell auf der indonesischen Insel Sumatra – mit wissenschaftlicher Unterstützung der Insektenforscher aus Gießen. Die Fabrik hat ein Investitionsvolumen von einer halben Milliarde Dollar und wird direkt neben einer riesigen Palmölfabrik gebaut – mit deren Abfällen die Soldatenfliegen gefüttert werden.

Zuallererst entwickelt Vilcinskas Team ein Verfahren, um die ausgepressten Samenschalen der Ölpalme aufzuschließen und damit für die Fliegen verdaulich zu machen. Diese Pressrückstände werden in flache Kästen gefüllt und mit frisch geschlüpften Larven beimpft. Nach zwei Wochen sind die Larven gut zwei Zentimeter groß. Zur Ernte nutzen die Züchter eine natürliche Eigenschaft der Larven. Sobald sie reif zur Verpuppung sind, verlassen sie das Substrat. Dann lassen sie sich einfach absammeln. Die geernteten Larven werden gefriergetrocknet. Die Extrakte enthalten rund 40 Prozent Protein, der Fettgehalt liegt bei circa 35 Prozent. Aus diesen Fraktionen lässt sich Tierfutter mischen – angepasst an die Bedürfnisse verschiedener Nutztiere: Fische, Hühner, Schweine.

Ein echter Überlebenskünstler

Pro Jahr sollen auf Sumatra über eine Million Tonnen pflanzliche Reste der Palmölproduktion in Fliegenlarven verwandelt und weiterverarbeitet werden. »Bei so großen Beständen kann der Befall mit Krankheiten immer ein Problem sein«, gibt Andreas Vilcinskas zu bedenken. Daher entwickelt er mit seinem Team ein Pathogen-Überwachungssystem. »Wir wollen auf jeden Fall ohne Antibiotika arbeiten, um die Umwelt nicht zu belasten.« Außerdem will er den guten Ruf bewahren, den Insektenprotein zurzeit hat. ►

Die geerntete Larve wird gefriergetrocknet – das Extrakt enthält 40 Prozent Protein



»Von Insekten lernen, heißt siegen lernen.«
 Prof. Andreas Vilcinskas hat die Insektenbiotechnologie maßgeblich geprägt.
 © Fraunhofer / Piotr Banczerowski

»Die Larven produzieren antimikrobielle Peptide«

Prof. Andreas Vilcinskas

► Die Chancen dafür stehen gut. Die Larven der Soldatenfliege sind Überlebenskünstler mit einem beeindruckenden Immunsystem, von Natur aus perfekt angepasst an ein Aufwachsen in faulenden Abfällen und in Mist – und dort wimmelt es von pathogenen Keimen. Wie sich die Fliegen dagegen schützen, hat Vilcinskas zusammen mit der Universität Dresden und dem Max-Planck-Institut für chemische Ökologie untersucht. Die Erklärung für die Widerstandsfähigkeit der Larven: Das Forschungsteam konnte in den Tieren über 50 verschiedene antimikrobielle Peptide nachweisen. Besonders verblüffend war, dass sich das Spektrum der produzierten Peptide in Abhängigkeit von der Ernährung veränderte. »Durch die Optimierung der für die Zucht verwendeten Nahrung können wir erreichen, dass die Larven antimikrobielle Peptide gegen wichtige Pathogene wie Salmonellen oder Listerien produzieren«, meint Vilcinskas. »Diese Peptide sind dann auch in dem Insektenmehl enthalten und schützen es vor einem Bakterienbefall.«

Von der Larve zum Huhn. Vom Huhn zum Menschen.

In Indonesien und den benachbarten Ländern hat das Insektenprotein als Tierfutter beste Marktchancen und wird ohne Vorbehalte verfüttert. Insekten sind dort traditionell auch bei Menschen beliebte Delikatessen – als gegrillte Grashüpfer oder frittierte Seidenraupen.

Auch in Afrika steht man Insekten als Tierfutter aufgeschlossen gegenüber. Daher ist die Produktion von Soldatenfliegen bestens geeignet, die Versorgung der Bevölkerung mit Proteinen zu verbessern. So wie zum Beispiel in Kenia. Das Start-up-Unternehmen Sanergy stellt für ein Pilotprojekt in den Slums von Nairobi mobile Toiletten auf und leert sie regelmäßig. Die in großen Fässern gesammelten menschlichen Exkremate werden zu einer Insektenfarm gebracht, mit Abfällen aus Restaurants vermischt und an Schwarze Soldatenfliegen verfüttert. Aus den Larven wird Hühnerfutter, die Hühner legen Eier, die Menschen essen die Eier – eine perfekte Kreislaufwirtschaft.

In Europa sind die Hemmschwellen am höchsten. Seit der BSE-Krise war es in der EU streng verboten, tierisches Eiweiß an Nutztiere zu verfüttern. Belastetes Tiermehl galt als Ursache für die Verbreitung des Rinderwahnsinns. Erst 2017 lockerte die EU die Vorschriften und erlaubt seitdem insektenbasierte Futtermittel für Aquakulturen. Allerdings nur, wenn die Larven nicht auf Abfällen gewachsen sind. Andreas Vilcinskas rechnet mit einer Ausweitung dieser Erlaubnis – zuerst bei Geflügel, dann vielleicht bei Schweinen.

Darauf hoffen auch andere Unternehmen, die in Europa auf die Schwarze Soldatenfliege setzen. In Deutschland gibt es bislang nur kleine Anbieter. Sie produzieren Larven für Zierfische und Reptilien – oder Katzenfutter mit Insektenmehl. In Belgien und den Niederlanden sind bereits größere Unternehmen am Start und investieren in den Zukunftsmarkt.

Und am Ende steht das Nobel-Restaurant

Die Vorschrift der EU, dass die Fliegenlarven nicht mit Abfällen gefüttert werden dürfen, erschwert eine ökonomische Nutzung. Die Larven mit anerkannten Futtermitteln wie Getreide aufzuziehen, macht in der Ökobilanz keinen Sinn. Andreas Vilcinskas setzt daher auf organische Nebenströme aus der Lebensmittelindustrie, wie zum Beispiel die Reste der Apfelsaftherstellung. Um zu zeigen, wie damit auch in Deutschland eine gute Wertschöpfung erreicht werden kann, baut er ein geschlossenes System auf, in dem die Fliegenlarven an die hochpreisigen schwarzen Tigergarnelen verfüttert werden – aus Black Soldier Fly wird Black Tiger Prawn. Das Projekt läuft im Rahmen der Initiative »Bioökonomie im Ballungsraum« und wird vom Bundesforschungsministerium gefördert. ■

Insekten – der lange Marsch auf den Tisch

In Europa sind die Hemmschwellen für Insekten als Nahrungsmittel seit der BSE-Krise am höchsten. Doch das beginnt sich zu ändern. Seit 2018 dürfen auch EU-Bürger mit dem offiziellen Segen aus Brüssel Insekten essen. Immer mehr überwinden ihre Scheu vor den Krabbeltieren und wagen den Biss in eine knusprige Heuschrecke. Denn Insekten sind gesund und haben eine gute Ökobilanz. Grashüpfer oder Buffalo-Würmer sind bereits heute schon gefriergetrocknet zu kaufen, Kochbücher erklären, wie sich geröstete Mehlwürmer auf Kräuterbett oder Grillen mit Honig und Sesam zubereiten lassen. Einige Supermärkte haben bereits Insekten-Proteinriegel und tiefgekühlte Insektenburger im Angebot. Fachmann Andreas Vilcinskas ist sich sicher, dass insektenbasierte Produkte in zehn Jahren zum üblichen Sortiment gehören werden.

Wer hoch hinaus will, sollte tief tauchen

In Rostock entsteht ein moderner Forschungscampus für Unterwassertechnologien. Im Mittelpunkt: das Digital Ocean Lab von Fraunhofer.

Text: Mandy Bartel

Christof Schygulla steht vor Warnemündes Küste und schaut auf die Ostsee. Dort draußen liegt das Riff Nienhagen, dessen künstliche Landschaft der Meeresbiologe ganz genau kennt. Früher erforschte er dort für die Universität Rostock die Besiedlung von Riffstrukturen mit Mikroorganismen und später die Aquakultur von Rotalgen. Heute leitet er beim Fraunhofer IGD in Rostock das »Digital Ocean Lab«, ein Versuchsfeld für Unterwassertechnologien, das in den kommenden Jahren an diesem künstlichen Riff entstehen soll. Künftig sollen dort Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen autonome Tauchroboter, Unterwasserdrohnen, Steuerungs- oder Bilderkennungssysteme unter realen Bedingungen testen und weiterentwickeln können.

Potenzial tief unten in der See

Nur fünf Prozent der Weltmeere sind heute tatsächlich erforscht. Es heißt, wir wissen mehr über den Mond und den Mars als über die Tiefen der Ozeane. Das liegt vor allem an den Bedingungen unter Wasser: »Schwierige Sichtverhältnisse, enormer Druck, starke Strömungen treiben Aufwand und Kosten für die Erforschung der Meere in die Höhe«, sagt Schygulla. »Gleichzeitig brauchen wir neue, bessere Technologien, um diese Hürden zu überwinden.« Denn unter Wasser schlummert enormes Potenzial: nicht nur, wenn es darum geht, neue Ressourcen zu erschließen oder Offshore-Windanlagen zu bauen und zu warten.

In den Gärten des Unterwasser-Testfelds können diverse Technologien unter realistischen Bedingungen erprobt werden – vom Tauchroboter bis zu Sensorsystemen.
© Fraunhofer IGD

Aufgaben sind auch der Erhalt von Biodiversität und Fischbeständen, das Aufspüren und Erkunden von Wracks und das Bergen von Altlasten wie Minen zum Schutz der Ökosysteme.

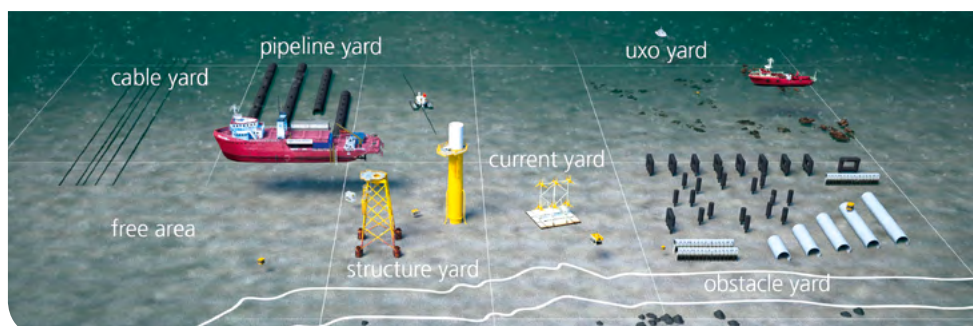
»Bisher gibt es kaum Möglichkeiten, neue Technologien in einem realen Umfeld ausgiebig zu testen. Doch in der Industrie gibt es dafür einen riesigen Bedarf«, so der Forscher. Das neue Versuchsfeld bietet viele Anwendungsgebiete: Im Munitionsgarten können zum Beispiel Sensoren oder Bilderkennungssysteme erprobt werden, um gefährliche Altlasten im Meeresuntergrund zielsicher aufzuspüren. Für Tests neuer Kabelabdeckungen oder zum Verlegen von Kabeln eignet sich der Kabelgarten. Der Strömungsgarten ermöglicht Trainingseinsätze für Tauchroboter oder die Schulung professioneller Anwender. Zudem gibt es einen Hindernisparcours sowie eine Freifläche für weitere Szenarien. Außer dem Unterwasserareal gehört auf dem Land eine Operationszentrale im Rostocker Fischereihafen zum Digital Ocean Lab, von wo aus die Missionen und Testläufe gesteuert und überwacht werden können.

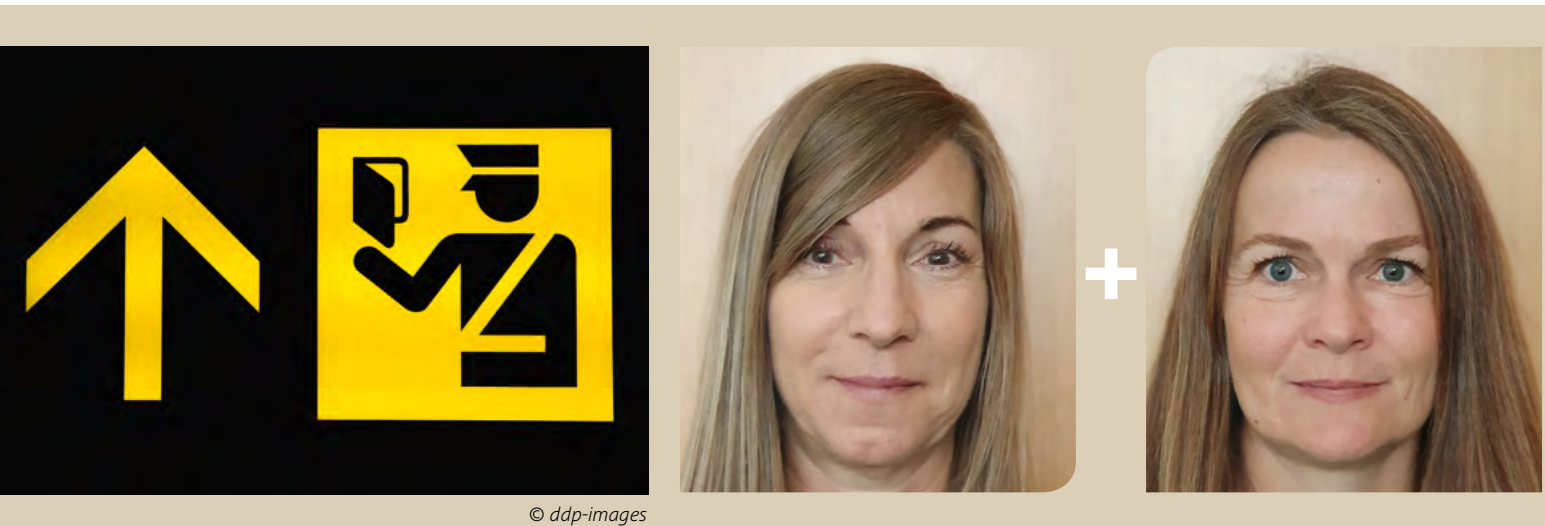
Eingebettet ist das Meereslabor in den Ocean Technology Campus Rostock, einer Initiative der Hansestadt mit dem Ziel, gemeinsam mit Wirtschaft und Wissenschaft in Rostock den größten Campus für Forschung und Entwicklung von Unterwassertechnologien aufzubauen. In den nächsten Jahren sollen sich hier unter diesem Dach viele Unternehmen und Institutionen ansiedeln und den Wirtschaftsstandort stärken.

Über den Zuspruch aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik freut sich der Meeresbiologe Schygulla. Doch neben dem Wirtschaftsfaktor hat für ihn vor allem der Schutz des Ökosystems Meer Priorität: »Wir müssen in der Meeresforschung eine gute Balance zwischen der Nutzung und dem Schutz der Ozeane hinbekommen. Das Testlab leistet einen wichtigen Beitrag dazu, Unterwassertechnologien und Verfahren auch im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit zu optimieren und zu testen.« ■

»Wir müssen eine gute Balance zwischen der Nutzung und dem Schutz der Ozeane hinbekommen.«

Christof Schygulla





© ddp-images

Ein Gesicht für zwei

Weltweit haben sich automatische Passkontrollen durchgesetzt. Die Gesichtserkennung ist anfällig – und das ist gefährlich in Zeiten von Terror, internationaler Kriminalität und Flüchtlingsströmen. Die Fraunhofer-Institute HHI und IPK arbeiten für mehr Sicherheit.

Text: Britta Widmann

»Kriminelle sind in der Lage, die Gesichtserkennung auszutricksen!«

Lukasz Wandzik,
Fraunhofer IPK

Ein Pass, den zwei Menschen benutzen können? In einem Berliner Bürgeramt ist das Realität geworden. Express-Reisepass beantragt. Mit dem Personalausweis identifiziert. 37,50 Euro Verwaltungsgebühr bezahlt. Foto über den Tisch geschoben. Neun Tage später den neuen Pass, frisch aus der Bundesdruckerei, abgeholt. Und schon hatte sich eine Polit-Aktivistin mit dem Künstlernamen Billie Hoffmann ein amtliches Reisedokument beschafft – das bei der Gesichtserkennung in automatischen Passkontrollen auch für Federica Mogherini funktioniert hätte. Die heute 46-Jährige war Außenministerin Italiens und ist seit 2014 Hohe Vertreterin der EU für Außen- und Sicherheitspolitik. Ausgerechnet. Der Schlüssel: Das Passbild war gemorpht. Der Computer hatte aus zwei biometrischen Fotos eines gemacht – und damit einen Reisepass für zwei ermöglicht.

Praktisch – aber gefährlich!

Automatisierte Passkontrollen mit Kameras und Scannern sind praktisch, sie verkürzen die Wartezeiten. Doch ist diese

Art der Authentifizierung anfällig gegenüber Morphing-Angriffen. »Kriminelle sind in der Lage, die Gesichtserkennungssysteme so auszutricksen, dass zwei Personen denselben Pass verwenden können«, bestätigt Lukasz Wandzik, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI und weiteren Partnern entwickelt er Verfahren, die Bildanomalien erkennen – wie sie typisch sind für gemorphte Bilder.

Das Projekt heißt ANANAS: »Anomalie-Erkennung zur Verhinderung von Angriffen auf gesichtsbildbasierte Authentifizierungssysteme«. Wir haben den Sicherheitsmechanismus fürs Fraunhofer-Magazin getestet mit Fotos der Autorin und dreier Kolleginnen. »Trotz nicht biometrischer Ausgangsbilder hat unser Detektor alle drei Morphs erkannt«, stellt Prof. Peter Eisert fest. Und der Abteilungsleiter Vision & Imaging Technologies am Fraunhofer HHI fügt hinzu: »Wäre die Passkontrolle mit dem ANANAS-Detektor ausgestattet gewesen, hätte die



Aus zwei mach eins:
Morphing lässt zwei
Gesichtsbilder verschmelzen.
Die Gefahr: Zwei
Menschen könnten
denselben Pass benutzen.
© Fraunhofer / Britta Widmann



Autorin mit diesen manipulierten Bildern im Ausweis nicht durch die Schleuse gelangen können.«

Um dieses Mehr an Sicherheit zu ermöglichen, haben die Wissenschaftler tiefe neuronale Netze auf gemorphte und reale Gesichtsbilder trainiert. Diese können gemorphte Bilder an den entstehenden Veränderungen erkennen. »Die Trefferquote bei den Testdatenbanken, die wir im Projekt erstellt haben, liegt bei über 90 Prozent«, sagt Prof. Eisert.

Weder die Gesichtsform noch die Haarfarbe entlarven die Manipulation – häufig sind es minimale Veränderungen im Bild, die Hinweise geben, ob es sich um eine Fälschung handelt. »Eine etwas unscharfe Stelle im Bild, eine doppelte Wimper oder unplausible Falten bzw. Lichtreflexe können Hinweise auf Manipulationen geben«, erklärt der Informatiker. Die Lichtreflexe geben beispielsweise Informationen über die Umgebungsbeleuchtung. Ist diese nicht konsistent mit der Schattierung der Haut oder treten die Glanzlichter doppelt und in ungewöhnlicher Weise auf, so könnte dies auf eine Fälschung hindeuten.

Wo findet sich Verdächtiges?

Neben der Entscheidung, ob ein Bild echt ist, interessieren sich Eisert und sein Team am Fraunhofer HHI vor allem für den Entscheidungsgrund. »Das Problem ist, dass man nicht weiß, wie das Neuronale Netz die Entscheidung getroffen hat«, sagt Eisert. Um die KI-Prognosen erklärbar zu machen, analysieren die Wissenschaftler mit eigens entwickelten LRP-Algorithmen (Layer-Wise Relevance Propagation) die Regionen im Gesichtsbild, die für die Entscheidung relevant sind. Dies hilft, verdächtige Bereiche in einem Gesichtsbild zu finden und Artefakte zu identifizieren und zu klassifizieren,

die während eines Morphing-Prozesses erzeugt wurden. Mit Hilfe der Algorithmen lassen sich gemorphte Bilder als solche erfolgreich identifizieren, wie Referenztests bestätigen. Die relevanten Gesichtsbereiche kennzeichnet die LRP-Software.

KI gegen KI: Der Wettlauf

Die Forscher nutzen daher diese Informationen auch, um die neuronalen Netze robuster zu gestalten und unterschiedlichste Angriffsmethoden zu erkennen. »Die Kriminellen können auf immer ausgefeiltere Angriffsmethoden zurückgreifen, zum Beispiel auf KI-Verfahren, die komplett künstliche Gesichtsbilder erzeugen. Indem wir unsere neuronalen Netze optimieren, versuchen wir, den Fälschern einen Schritt voraus zu sein und zukünftige Attacken zu identifizieren«, sagt der Professor für Informatik.

Die Demonstrator-Software inklusive Anomalieerkennung und Auswertungsverfahren umfasst verschiedene, miteinander fusionierte Detektormodule der einzelnen Projektpartner. Die vernetzten Module wenden unterschiedliche Erkennungsverfahren an, um eine Manipulation zu ermitteln. »Genau dadurch zeichnet sich die Software aus – unterschiedliche Verfahren, aus denen am Ende des Prozesses ein Gesamtergebnis erzeugt wird, das kriminelle Attacken sicher vereitelt. Man könnte auch sagen, sich doppelt und dreifach abzusichern hält besser«, sagt Lukasz Wandzik.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderte Projekt ANANAS läuft noch bis Mai 2020. Ziel ist es, die Software im Anschluss in bestehende Gesichtserkennungssysteme an Grenzkontrollen zu integrieren, diese um die Morphingkomponenten zu erweitern und so Fälschungen durch entsprechende Angriffe auszuschließen. ■

Für die automatische Passkontrolle blickt der Fluggast in eine Kamera. Das Bild wird mit dem Passbild verglichen. Dieser Abgleich wird immer häufiger eingesetzt – beispielsweise in Smartphones, beim Einkauf oder bei Zahlungen.

Letzte Hoffnung Gentherapie

Wie weiße Blutkörperchen für den Kampf gegen Krebszellen gerüstet werden

Text: Christine Broll

Bevor Melanie Müller den mit flüssigem Stickstoff gekühlten Spezialbehälter öffnet, setzt sie sich die Schutzbrille auf und streift die Spezialhandschuhe über. Vorsichtig holt sie eine Metallkassette mit dem Blutbeutel eines Patienten heraus. Er enthält viele T-Zellen, eine spezielle Art von weißen Blutkörperchen. Wem die Probe gehört, weiß sie nicht. Aber sie weiß sehr genau, welches Schicksal sich hinter der Nummer verbirgt, unter der dieser Beutel registriert ist.

Denn die Patienten, mit deren Blut sie hier arbeitet, leiden an schweren Formen von Lymphknotenkrebs oder Leukämie. Viele davon sind Kinder. Sie gelten als austerapiert; mit Standardtherapien kann ihnen nicht mehr geholfen werden. Ihre letzte Hoffnung ist die Behandlung mit dem Gentherapeutikum Kymriah®. Im Auftrag des Schweizer Pharmakonzerns Novartis wird es im Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI hergestellt – individuell für jeden einzelnen Patienten.

Kymriah® war die erste zugelassene Gentherapie gegen Krebs. Seit August 2017 ist sie in den USA auf dem Markt, seit August 2018 auch in der EU. Einzige Produktionsstätte für das von der Europäischen Kommission zugelassene Produkt in Europa ist bislang das Fraunhofer IZI in Leipzig. Dort wurde gemeinsam mit Novartis der komplexe Produktionsprozess etabliert – zuerst für klinische Studien, jetzt für die Versorgung der Patienten. Gleichzeitig arbeitet das IZI intensiv daran, Gentherapien günstiger und effizienter zu machen. Heute kostet die Behandlung mit Kymriah® in Deutschland 275 000 Euro pro Patient.

Umprogrammierung im Reinraum

Die angelieferten Blutbeutel werden im hochsterilen Reinraum der Gentechniksicherheitsstufe S2 aufgetaut. Hier tragen Melanie Müller und die anderen Mitarbeitenden Ganzkörper-Overalls mit Kapuze, Überschuhe, zwei Paar

Handschuhe, Mundschutz und Schutzbrille, damit die Blutzellen der Patienten auf keinen Fall verunreinigt werden. Im Reinraum findet die genetische Transformation der T-Zellen der Patienten statt. Sie werden für den Kampf gegen Krebszellen gerüstet.

Damit die T-Zellen die Krebszellen erkennen können, werden sie umprogrammiert. Ein nicht vermehrfähiger Virus bringt ein Gen in die T-Zellen, das auf ihrer Oberfläche einen speziellen Rezeptor bildet – den chimären Antigen-Rezeptor, kurz CAR. Daher heißen die umprogrammierten Zellen CAR-T-Zellen. Mithilfe des Rezeptors können sie jetzt Krebszellen als Feind identifizieren und erledigen, was natürliche T-Zellen sonst auch mit feindlichen Bakterien und Viren tun: Sie setzen einen Immunprozess in Gang, der den Feind abtötet.

Das Leipziger Labor vermehrt die CAR-T-Zellen nach der Transformation und prüft sie umfassend. Nach etwa 22 Tagen werden sie tiefgefroren zum Patienten geschickt, um ein Leben zu retten.

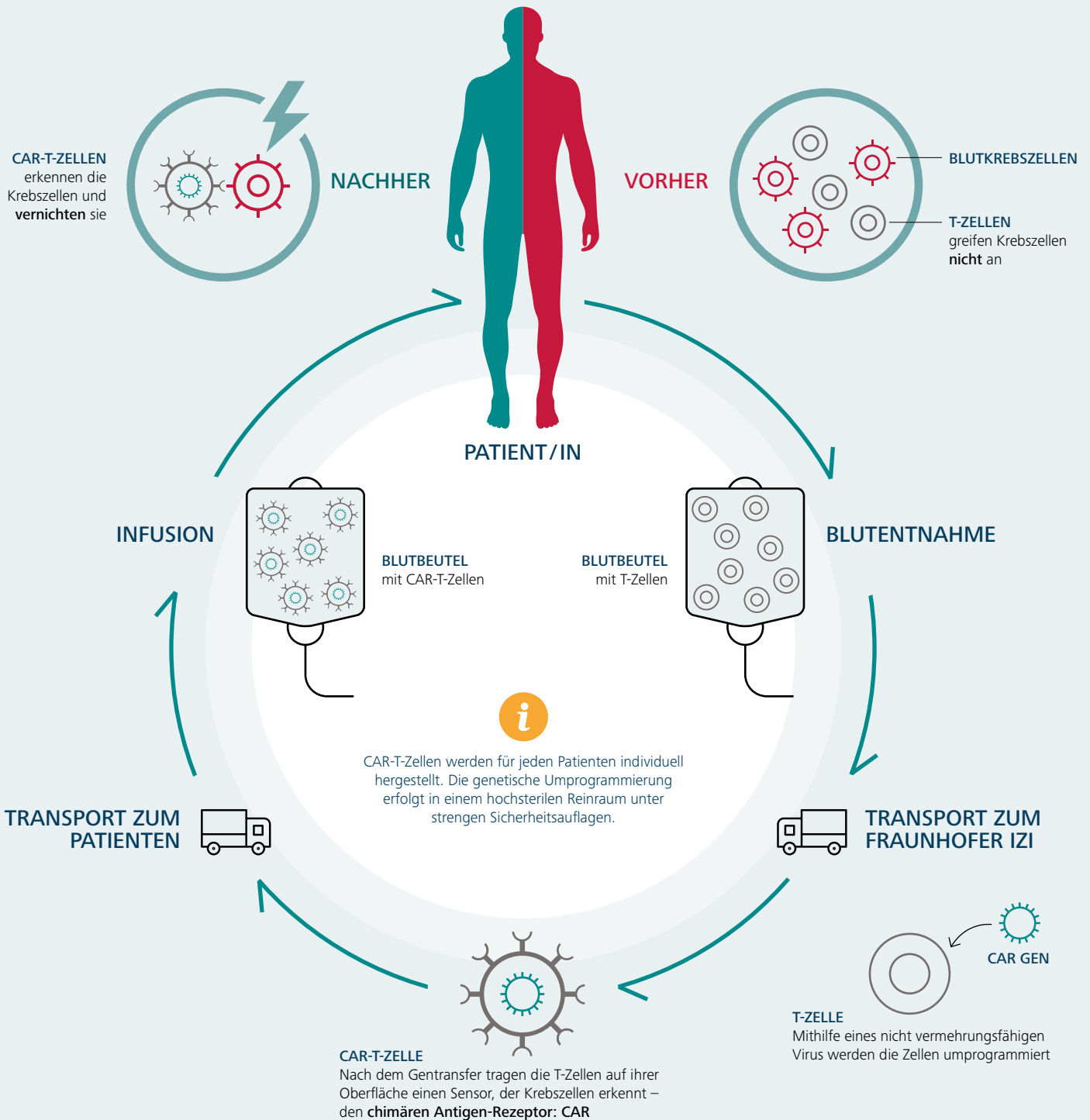
Patienten, die zurzeit in Europa mit Kymriah® behandelt werden, haben einen langen Leidensweg hinter sich. Die Behandlung ist nur zugelassen, wenn vorher mindestens zwei Standardtherapien fehlgeschlagen sind. Behandelt werden Kinder und junge Erwachsene bis zu 25 Jahren mit akuter lymphoblastischer Leukämie (pALL) sowie erwachsene Patienten mit einer Form von Lymphdrüsenkrebs, dem diffus großzelligen B-Zell-Lymphom. Die betroffenen Menschen haben in der Regel nur noch eine Lebenserwartung von wenigen Wochen oder Monaten.

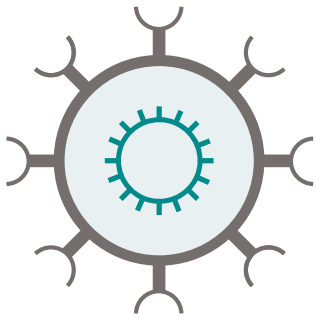
Die CAR-T-Zellen werden den Patienten im Regelfall nur ein einziges Mal per Infusion verabreicht. Durch die Zerstörung der Krebszellen lösen sie eine heftige Immunreaktion aus. Wenn dabei zu viele immunologische Botenstoffe wie Zytokine freigesetzt werden, kann es zu einem Zytokinsturm kommen – mit hohem Fieber und grippeähnlichen Symptomen. Außerdem sind neurologische Störungen möglich. ►

Kymriah® ist
seit 2018
in der EU
zugelassen.
In Deutschland
kostet die
Therapie
275 000 Euro
– pro Patient.

CAR-T-Zelltherapie

T-Zellen eines Patienten werden im Labor so umprogrammiert, dass sie Blutkrebszellen erkennen und vernichten.





► Die spezialisierten Zentren, die mit Kymriah® arbeiten, sind intensivmedizinisch darauf vorbereitet und setzen zur Bekämpfung der Nebenwirkungen verschiedene Therapien ein.

Da sich die CAR-T-Zellen im Blutkreislauf des Patienten weiter vermehren, können Tumorzellen durch die Behandlung auch langfristig zurückgedrängt werden. Das zeigen die Ergebnisse der klinischen Studien. Bei der ELIANA-Studie wurden 79 Patienten mit akuter lymphoblastischer Leukämie behandelt. 82 Prozent von ihnen sprachen auf die Behandlung an, nach zwei Jahren lebten noch 66 Prozent der im Rahmen der Studie behandelten Patienten.

Therapien auch für Brust- und Lungenkrebs

Bislang ist die CAR-T-Zelltherapie nur für Patienten mit B-Zell-basierten Krebserkrankungen verfügbar. Denn das für Kymriah® verwendete CAR-Konstrukt erkennt ganz spezifisch ein Zielmolekül, das nur auf entarteten B-Zellen vorkommt. Doch arbeiten Unternehmen und Forschungseinrichtungen weltweit an der Entwicklung von CAR-T-Zelltherapien für die Behandlung solider Tumore und weiterer Krebsarten.

Am Fraunhofer IZI verfolgt die Hauptabteilung von Dr. Gerno Schmiedeknecht und Kati Keibel dabei einen vielversprechenden Ansatz – gemeinsam mit der Universitätsklinik Würzburg und dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin. Gefördert wird das Projekt im Rahmen der Proof-of-Concept-Initiative, mit der die Deutsche Hochschulmedizin, die Helmholtz-Gemeinschaft und die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Zusammenarbeit intensivieren. »Unsere Würzburger Partner haben ein CAR-Konstrukt entwickelt, das ein spezielles Zielmolekül erkennt, das auch auf bestimmten soliden Tumoren vorkommt«, erläutert Gerno Schmiedeknecht. »Das Zielmolekül heißt ROR1 und kommt unter anderem auf Lungen- und Brustkrebszellen vor. Wir entwickeln derzeit ein Verfahren, um CAR-T-Zellen zu produzieren, die diese Krebszellen zerstören.«

Mit der Verfahrensentwicklung will das Forschungsteam die Herstellung individueller CAR-T-Zellen günstiger und effizienter machen. Bislang wird das Gen für das CAR-Konstrukt

mithilfe eines nicht vermehrungsfähigen Virus in die T-Zellen eingeschleust. Doch diese spezialisierten Viren sind extrem teuer und schwer zu beschaffen. In dem Projekt nutzt man für den Gentransfer daher eine Alternative: ein Transposon, ein springendes Gen, das sich an verschiedenen Stellen des Erbguts einbauen kann. »Das virus-freie Transferverfahren ist kostengünstiger und sehr effizient«, verdeutlicht Schmiedeknecht. Zum Ende des Projekts sind für 2021 erste klinische Tests mit den CAR-T-Zellen gegen verschiedene Tumore an der Universitätsklinik Würzburg geplant.

CAR-T-Zelltherapien retten Todkranken das Leben; das Gesundheitssystem stellen sie vor eine große Herausforderung. Bisher wurden in Deutschland rund 50 Patienten mit Kymriah® behandelt. Mitte September 2019 hat Novartis mit dem Spitzenverband der gesetzlichen Kranken- und Pflegekassen GKV-SV einen Vertrag zur Übernahme der Behandlungskosten geschlossen.

Wer soll das bezahlen?

Doch wie wird die Situation, wenn CAR-T-Zelltherapien auch für die häufigsten Tumorindikationen Brust- und Lungenkrebs zugelassen sind? Dann werden die Patientenzahlen in die Höhe schnellen. Können die Krankenkassen dann noch die Kosten von mehreren hunderttausend Euro pro Patient tragen? Oder wird die Therapie denen vorbehalten sein, die sie sich leisten können?

Gerno Schmiedeknecht beurteilt die Entwicklung nicht so pessimistisch. »Als die ersten Therapien mit monoklonalen Antikörpern auf den Markt kamen, waren sie aufgrund von wenig effektiven Herstellungsprozessen auch extrem teuer«, berichtet der Leiter der Hauptabteilung. »Heute sind die Preise durch moderne Herstellungsverfahren und durch die Zulassung erster Biosimilars deutlich gefallen. Für die Herstellung der CAR-T-Zellen ist zurzeit noch viel Handarbeit im Labor erforderlich. Um Zeit und Kosten zu sparen, wollen wir perspektivisch die Produktion automatisieren.« Unterstützung könnte dabei von Expertinnen und Experten aus anderen Fraunhofer-Instituten kommen. Denn Prozessautomatisierung ist eine der Stärken von Fraunhofer. ■

»Um Zeit und Kosten zu sparen, wollen wir perspektivisch die Produktion automatisieren.«

Gerno Schmiedeknecht,
Fraunhofer IZI

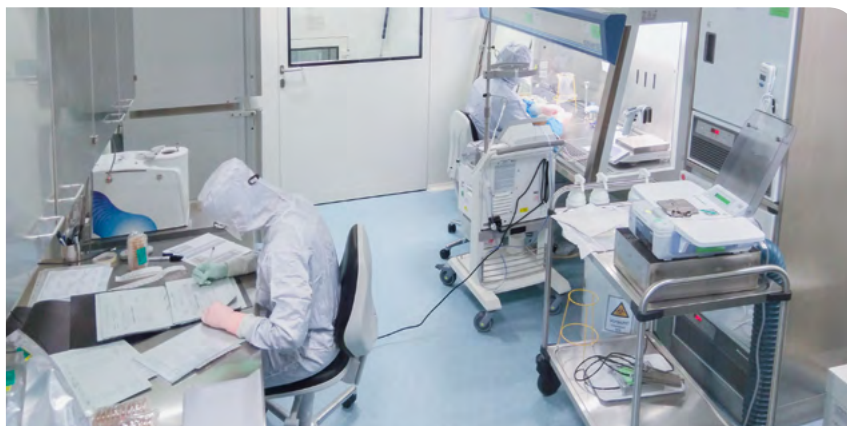
In Blutbeuteln werden die Immunzellen der Patienten tiefgekühlt angeliefert und dann zur Herstellung des Zelltherapeutikums im Reinraum des Fraunhofer IZI genetisch umprogrammiert. © Fraunhofer IZI

Gentherapie

Bei einer Gentherapie werden fremde Gene in Körperzellen eines Patienten eingeschleust. Es gibt zwei Arten von Gentherapien.

1. Gentherapie gegen Erbkrankheiten: Um einen angeborenen Gendefekt auszugleichen, wird ein entsprechendes Gen in bestimmte Körperzellen eingefügt. Bisher sind in Europa drei Therapien zugelassen. Sie dienen zur Behandlung der Beta-Thalassämie, des schweren Immundefekts ADA-SCID und einer seltenen angeborenen Netzhautdegeneration.
2. Gentherapie gegen Krebs: Durch Gentransfer werden T-Zellen eines Patienten in die Lage versetzt, Krebszellen zu erkennen und zu bekämpfen. In Europa sind zwei Therapien gegen verschiedene, aggressive Formen von Leukämie und Lymphdrüsenkrebs zugelassen: Kymriah® von Novartis und Yescarta® des US-Konzerns Gilead/Kite Pharma.

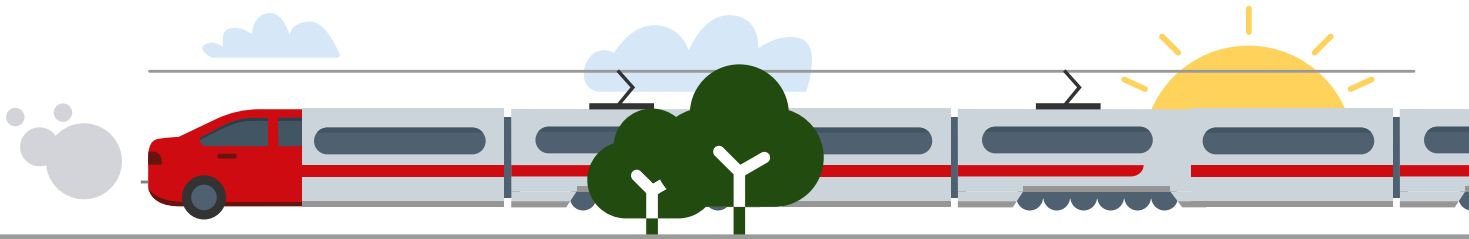
Viele weitere Gentherapien sind zurzeit in der Entwicklung, zum Beispiel gegen Hämophilie (Bluterkrankheit).



Im Reinraum des Fraunhofer IZI wird das zellbasierte Gentherapeutikum Kymriah® unter strengsten Sicherheitsbedingungen individuell für jeden Patienten hergestellt. © Fraunhofer IZI

Video über die Herstellung der CAR-T-Zellen am Fraunhofer IZI:

https://www.izi.fraunhofer.de/content/dam/izi/de/Videos/Beitrag_CAR_T_Extern_2018.mp4



Schöner reisen mit Blockchain

Mit der U-Bahn zum Münchner Hauptbahnhof, per ICE nach Köln und anschließend mit dem Taxi zur Silvesterparty? Die günstigste Route von A nach B, von C nach D ist per App schnell gefunden. Wie schön wäre es jetzt, auf »buchen« klicken zu können und ein Ticket für die komplette Reise in der Tasche zu haben. Wäre es. Noch gilt: Kann man aber nicht.

Text: Sonja Endres

Prof. Gilbert Fridgen und seine Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT wollen das Reisen in Deutschland einfacher machen. Sie planen ein offenes, dezentrales Mobilitätssystem, kurz OMOS. Die Idee: Alle Mobilitätsdienstleister stellen ihre Daten auf einer zentralen Plattform zur Verfügung. Ein Algorithmus ermittelt daraus die günstigsten Verbindungen, die der Kunde mit einem Klick auswählen, buchen und bezahlen kann.

Mit der Abrechnung hat der Kunde nichts am Hut.

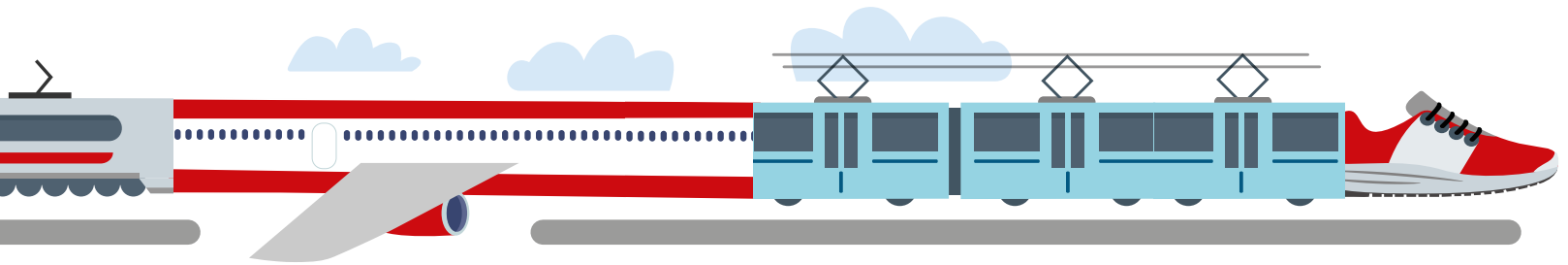
»Bisher ist eine solche Plattform daran gescheitert, dass die Deutsche Bahn, die Lufthansa, die öffentlichen Verkehrsbetriebe oder Carsharing-Anbieter ihre Kundenbeziehung verständlicherweise nicht an einen Plattformbetreiber abtreten und sich von ihm abhängig machen wollten«, erklärt Fridgen. Die Blockchain-Technologie bietet einen Ausweg aus dem Dilemma: Indem sie das Einrichten einer neutralen Plattform ermöglicht, macht sie einen Betreiber überflüssig. Der Zugriff auf die Plattform soll über bereits bestehende Apps wie den DB Navigator oder Share Now erfolgen. Je nach App könnten bei der Auswahl unter gleichwertigen Verbindungen bestimmte bevorzugt werden – beim DB Navigator würden an erster Stelle Verbindungen mit Bahn und öffentlichem Nahverkehr angezeigt, bei Share Now Carsharing-Angebote.

»Ich vergleiche die Blockchain gerne mit einem Notizbuch, das alle einsehen können und auf das alle Zugriff haben. Die Deutsche Bahn sieht in diesem Notizbuch nicht nur ihre eigenen Verbindungen, sondern auch, welche Verbindungen die anderen zu welchem Preis anbieten. Sie kann so ein Kombi-Angebot erstellen, zum Beispiel mit dem Taxi zum Berliner Hauptbahnhof, von dort mit dem ICE nach Bayreuth und mit dem Carsharing-Auto weiter bis nach Kulmbach.«

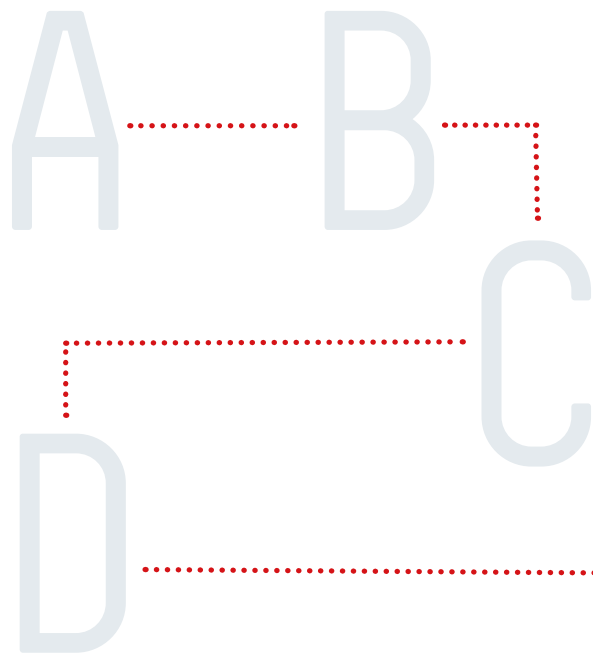
Wenn der Kunde diese Verbindung bucht, wird das in dem Notizbuch vermerkt – und zwar so, dass es im Nachhinein nicht mehr gelöscht oder verändert werden kann. Ebenso, welcher Anbieter welche Leistung zu welchem Preis erbringt.

Kinderleicht und komfortabel

»Die Abrechnung regeln das Taxiunternehmen, die Deutsche Bahn und das Carsharing-Unternehmen untereinander, der Kunde hat damit nichts am Hut. Weil die Buchung über den DB Navigator erfolgte, erhält die Deutsche Bahn das Geld und verteilt es. Dabei könnte man sich darauf einigen, dass sie vom Ticketpreis fünf Prozent Provision einbehält – ähnlich einer Vertriebspauschale im Reisebüro«, überlegt Fridgen.



© es@2issue.de



Umweltfreundlicher und günstiger

Lange galt das eigene Auto als Inbegriff von Freiheit und Unabhängigkeit. Einfach losfahren – wann man will, wohin man will, mit wem man will. Doch Autofahren in München, Hamburg oder Berlin macht schon lange keinen Spaß mehr. Auf den Autobahnen quer durch die Republik wird es eng. Staus, Baustellen und die endlose Parkplatzsuche führen dazu, dass vor allem junge Städter Bus, Bahn oder (E-)Bike den Vorzug geben. Umweltfreundlicher und günstiger ist es obendrein. Auch als Statussymbol hat das Auto bei der jungen Generation ausgedient. Viele schaffen sich gar keins mehr an. Doch spätestens, wenn sie sich jenseits ihrer Stadtgrenzen bewegen wollen, wird es häufig kompliziert.

Nicht nur die Bezahlung und die Streckenplanung würden mit OMOS kinderleicht – die Mobilitätsplattform bietet auch eine wesentlich höhere Flexibilität. Hat der Zug beispielsweise eine halbe Stunde Verspätung und das Carsharing-Auto steht deshalb nicht mehr zur Verfügung, könnten dem Kunden schnell Alternativen angeboten werden. Noch im Zug erhält er dann die Nachricht, dass statt des Carsharing-Autos jetzt ein Taxi für ihn am Bahnhof bereitsteht.

Die technischen Voraussetzungen für OMOS sind gegeben. Die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie, die das Fraunhofer FIT im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellt hat, zeigen: Der Bedarf beim Kunden ist hoch, der Wunsch nach Mobilität auf Abruf groß. Das eigene Auto verliert zunehmend an Attraktivität. Zusammen mit dem ökologischen Bewusstsein ist in der Bevölkerung die Bereitschaft deutlich gestiegen, auf alternative und umweltverträgliche Verkehrsmittel umzusatteln. OMOS bietet den Komfort und die Flexibilität, die den Umstieg bequem möglich machen. Fridgen ist überzeugt: »Wenn alle Mobilitätsanbieter an einem Strang ziehen, könnte man die Grundfunktionalitäten der Plattform bereits in ein bis zwei Jahren bereitstellen und diese dann nach und nach erweitern.«

Das Interesse der Unternehmen ist groß. Es gibt bereits zwei Initiativen, die an einem offenen Mobilitätssystem arbeiten. »Das ist allerdings nicht besonders sinnvoll. Wir wollen ja keine roten, blauen und schwarzen Notizbücher haben, sondern eins, in dem alles steht. Wir sind daher mit den Unternehmen im Gespräch und hoffen, sie davon überzeugen zu können, die verschiedenen Initiativen zu einer gemeinsamen zu bündeln. Dann wären wir ebenfalls dabei, um zu beraten, die Entwicklung voranzubringen und zu koordinieren.« Die Zeichen dafür stehen gut. Der nächste runde Tisch ist schon terminiert. ■

OMOS

»Schrecklichkeiten verhindern«

Auf dem Weihnachtsmarkt ein Glühwein? Am Brandenburger Tor Silvester feiern? Mit dem Zug durch Deutschland reisen? Was wir auch tun, wir wollen dabei vor Anschlägen und Gewaltkriminalität geschützt sein. Technologie kann Sicherheit erheblich steigern.

Text: Janine van Ackeren



Gedenken an die Opfer des Anschlags auf den Berliner Breitscheidplatz im Jahr 2016. © imago images

Am 29. Juli 2019 stößt ein psychisch gestörter Mann am Frankfurter Bahnhof eine Mutter und ihren achtjährigen Sohn vor einen einfahrenden ICE. Am 28. Juli 2017 sticht ein Asylbewerber in einem Hamburger Supermarkt mit einem Messer auf Kunden ein. Ein Mensch stirbt, fünf werden verletzt. Am 9. Oktober 2019, dem höchsten jüdischen Feiertag Jom Kippur, versucht ein Rechtsextremist, die Synagoge in Halle zu stürmen und die versammelte Gemeinde zu erschießen. Als dies nicht gelingt, erschießt er eine Passantin und den Besucher eines türkischen Imbisses. Die Frage, die sich immer neu stellt: Wie lässt sich die Sicherheit vor Anschlägen und Gewaltkriminalität erhöhen?

So hilft Technik, Gewalt einzudämmen

Eine Technologie, die helfen kann, Gewaltkriminalität drastisch einzudämmen, bietet das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB mit der intelligenten Videoüberwachung. Während herkömmliche Videoüberwachung Probleme im Bereich Datenschutz hervorruft und in der Bevölkerung meist auf wenig Akzeptanz stößt, lässt sich der Datenschutz hier technisch erzwingen. »Unser System unterscheidet selbstständig zwischen relevanten und irrelevanten Vorgängen bzw. Aktivitäten«, sagt Dr. Markus Müller, Leiter der Abteilung Videoüberwachungssysteme am Fraunhofer IOSB. Schlendert jemand mit seiner Einkaufstüte über den überwachten Platz oder spielen dort ein paar Kinder, so sieht die Einsatzkraft vor den Rechnern nur einen schwarzen Bildschirm oder ein pixeliges Bild, auf dem kaum etwas zu erkennen ist. Bemerkt das System jedoch einen Tritt oder Schlag oder einen anderen tätlichen Übergriff, schaltet es den Monitor ein und zieht den menschlichen Entscheidungssträger hinzu.

»Das System agiert wie ein digitaler Schnüffelhund«, erläutert Müller. »Ein Schnüffelhund ist auf einen ganz bestimmten Geruch trainiert – nur wenn er diesen wahrnimmt, schlägt er an. Ähnlich funktioniert unser System: Es meldet sich nur bei tätlichen Übergriffen, alle anderen Verhaltensweisen sind ihm unbekannt.« Eine Meldung des Systems ist also ähnlich zu werten wie ein Anruf unter der 110. Doch woher weiß das System eigentlich, wann ein Angriff vorliegt und wann nicht? Dies haben die Forscherinnen und Forscher ihm über Künstliche Intelligenz beigebracht und optimieren diesen Lernvorgang. Sprich: Sie haben das System mit verschiedenen Videoaufzeichnungen von Schlägen, Tritten und Co. »gefüttert«, mit jedem Video wird das System sicherer.

Sicherheit am Bahnhof

Die Entscheidungen jedoch trifft nach wie vor der Mensch. Schaltet das System etwa wegen einer Tritthypothese um auf ein Klاربild, kann er den Hinweis verwerfen, da ggf. harmlos, oder aber Maßnahmen einleiten, etwa eine Streife hinschi-

cken. »Den ersten Schlag verhindern wir nicht, der soll als solcher erkannt werden. Aber eine weitere Fortsetzung, die Eskalation, der versuchte Totschlag oder gar der Totschlag könnte durch unmittelbare Erkennung des Übergriffs sowie rasche Intervention verhindert werden«, sagt Müller.

In Mannheim setzt die Polizei das System im Rahmen eines Pilotprojekts für Experimente bereits ein – dort werden bestimmte Kriminalitäts-Hotspots mit insgesamt rund 70 Kameras überwacht, ihre Bilder sollen vom System parallel und in Echtzeit ausgewertet werden. Die Akzeptanz der Bevölkerung ist enorm: 80 bis 85 Prozent der Menschen befürworten das System. »Die Kriminalitätsrate sinkt, im Durchschnitt dauert es in den überwachten Gebieten nicht einmal zwei Minuten, bis die Einsatzkräfte an Ort und Stelle sind«, weiß Müller.

An Bahnhöfen und Co. könnte das dortige Sicherheitspersonal sogar innerhalb von Sekunden eingreifen. Wird der Wachdienst dort verständigt, dass jemand angegriffen wird, kann er über Lautsprecher direkt den Täter ansprechen: »Sie werden beobachtet, die Streife ist unterwegs. Unterlassen Sie die Angriffe!« Keine Frage: Vorfälle wie in Frankfurt lassen sich auch durch dieses System nicht verhindern, selbst direkt daneben stehende Polizisten hätten das Unglück wohl kaum abwenden können. Bei vielen anderen Situationen kann das System jedoch für deutlich mehr Sicherheit sorgen. »Es gab einmal eine Situation nachts in einer U-Bahn-Station, in der verschiedene Täter einen Mann auf die Gleise gestoßen haben und ihn minutenlang nicht wieder hoch ließen. In einem solchen Fall könnten Einsatzkräfte mithilfe der intelligenten Videoüberwachung schnell eingreifen und die Fortsetzung von Straftaten verhindern«, ist sich Müller sicher.

»Wir sehen uns im Dienste der Gesellschaft: Wir wollen mit unserer Technik solche Schrecklichkeiten verhindern – oder zumindest die Eskalation des Schreckens«, sagt Müller. So könnte das System, trainiert mit den passenden Daten, auch Posen und Körperhaltungen erkennen, die für das Bereithalten oder Zielen mit einer Waffe typisch sind. Denn diese Körperhaltungen entscheiden sich genügend von »normalen« Körperpositionen. »Wir sind der Meinung, dass man besonders gefährdete Einrichtungen wie Synagogen bundesweit mit intelligenter Videoauswertung überwachen sollte. In Halle hätte man so, noch bevor der erste Schuss fiel, Einsatzkräfte losschicken können«, meint Müller. »Vielleicht hätte es dann keine Toten gegeben.«

Schutz vor schmutzigen Bomben

Der Gefahr schmutziger Bomben mit radioaktiven Stoffen begegnen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE mit einer Technologie, die sie im Projekt REHSTRAIN, kurz für »REsilience of the Franco-German High Speed ▶

»Das System agiert wie ein digitaler Schnüffelhund«

Dr. Markus Müller,
Fraunhofer IOSB

»Wir wollen mit unserer Technik Schrecklichkeiten verhindern – oder zumindest die Eskalation des Schreckens.«

Dr. Markus Müller,
Fraunhofer IOSB

► TRAI Network«, entwickelt haben. »Unser Assistenzsystem ermöglicht es, radiologische Quellen im Menschenstrom zu erkennen und das Sicherheitspersonal zu alarmieren«, sagt Dr. Felix Govaers, stellvertretender Leiter der Abteilung »Sensordatenfusion« am Fraunhofer FKIE. Das System besteht aus mehreren Komponenten. Gammaskpektrometer, die in Böden oder Mauern des Bahnhofsgebäudes verbaut werden können, erfassen die radioaktive Strahlung und können sogar bestimmen, um welche Isotope es sich handelt. Da ein einziger Sensor nur analysieren kann, ob Strahlung vorhanden ist, setzen die Forscher ein Netz von Sensoren sowie handelsübliche Kinect-Kameras ein. Diese Kinect-Kameras liefern neben Bildern auch Entfernungsinformationen. Über eine Software zur Datenfusion koppeln sie die Daten miteinander und können die Strahlungsquelle auf diese Weise lokalisieren und einer bestimmten Person zuordnen.

An neuralgischen Punkten angebracht – also in Eingangsreichen, Auf- und Abgängen von Bahnhöfen, Flughäfen oder anderen öffentlichen Gebäuden –, könnten solche Assistenzsysteme künftig Informationen über radiologische Gefährder an die Überwachungssysteme etwa der Verkehrsbetriebe übertragen. Elementar dabei: Ob ein Zugriff erfolgt, entscheidet weiterhin der Mensch. Die Forscher des Fraunhofer FKIE sind derzeit im Gespräch mit der Düsseldorfer Firma innoRIID, die das System vermarkten möchte.

Abwehr von Gefahren aus der Luft

Eine Drohne nähert sich einer Großveranstaltung – sagen wir der Silvesterfeier am Brandenburger Tor in Berlin. Ist sie ein harmloses Flugobjekt? Oder ist sie eine von Terroristen gesteuerte Waffe, die Sprengstoff oder – viel wahrscheinlicher – Brandbeschleuniger in die Menschenmenge trägt? Es sind dringend verlässliche Detektions- und Abwehrsysteme für Drohnen gefragt. Ein solches haben zwölf Partner aus Industrie, Forschung und Lehre im BMBF-geförderten Projekt »Abwehr von unbemannten Flugobjekten für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben« – kurz AMBOS – entwickelt. Die Koordination lag beim Fraunhofer FKIE.

Ein Radargerät, mehrere Kameras, ein Funkaufklärungssensor, der das Funksignal der Fernbedienung analysiert, und akustische Sensoren, die die Geräusche anfliegender Drohnen erkennen, überwachen das Gelände. Jeder Sensor hat seine Vorteile: Der Radar kann beispielsweise einige Kilometer weit schauen, jedoch brauchen die Kameras und das Radar eine »Line of Sight«, also Sichtkontakt. Funkaufklärung und akustische Sensoren dagegen brauchen dies nicht, allerdings haben akustische Sensoren lediglich eine Reichweite von einigen hundert Metern. »Der Segen liegt in der Multimodalität«, sagt Hans Peter Stuch, Forschungsgruppenleiter und Verbundkoordinator AMBOS am Fraunhofer FKIE. »Insbesondere in der Sensordatenfusion: Sie koppelt nicht nur die Daten der unter-

schiedlichen Sensoren miteinander, sondern überprüft auch gleich die Qualität der Daten jedes einzelnen Sensors.«

Den Einsatzkräften, die beispielsweise am Silvesterabend in Berlin für Sicherheit sorgen sollen, erleichtert das System, die Situation einzuschätzen und entsprechend zu reagieren. Nähert sich eine Drohne dem Festgelände, sehen sie deren aktuelle Position auf einer digitalen Karte; zudem werden die Flughöhe, die Fluggeschwindigkeit und die Flugrichtung angezeigt. Doch stellt das Flugobjekt tatsächlich eine Gefahr dar? Auch bei dieser Frage unterstützt das System: Anhand der Daten schätzt es die Gefahrenlage ein und schlägt mögliche Gegenmaßnahmen vor. Entscheidet sich der Einsatzleiter daraufhin für eine Aktion, kann er sie ganz einfach per Knopfdruck starten. Die erste Option liegt darin, ein Störsignal auszusenden: Die Drohne kann das Signal ihrer Fernbedienung in dem Wirrwarr nicht mehr hören. Abgesehen von autonom fliegenden Drohnen bleibt die betroffene Drohne entsprechend ihrer Konfiguration daraufhin stehen, landet oder fliegt zum Startpunkt zurück. Eine zweite mögliche Abwehrmaßnahme ist ein elektromagnetischer Hochenergiepuls. Dieser bringt den Flug-Controller der Drohne durcheinander, der unter anderem die Rotoren ansteuert – die Drohne fällt wie ein Stein zu Boden. Als dritte Option steht ein Netzwerfer bereit, der die Drohne mechanisch zum Absturz bringt.

Ende Juni 2019 haben die Forscher das Projekt erfolgreich abgeschlossen – mit einer Evaluierung in Mosbach. Dort flogen Drohnen in verschiedenen Flugszenarien auf die zu schützende Liegenschaft zu. Das System erkannte die Gefahrenlage und leitete, auf Knopfdruck des Personals, erfolgreich entsprechende Gegenmaßnahmen ein. »Bezüglich dieses Kernsystems, das aus Sensordatenfusion, Lagedarstellung und Entscheidungsunterstützung besteht und an welches beliebige Sensoren und Abwehrmaßnahmen gekoppelt werden können, sind wir unter anderem im Gespräch mit einigen Polizeibehörden und der deutschen Flugsicherung«, erläutert Stuch. Vielleicht lässt sich künftig die Zahl der Horrormeldungen durch solche Technologien reduzieren.

Soziale Netzwerke für mehr Sicherheit

Hilfreich bei der Vermeidung von Attentaten sind auch Medien, die die Extremisten vorab nutzen und über die sie sich absprechen oder ihre Vorhaben ankündigen. Um Verdächtige weiter einzukreisen und ihre Tweets und Äußerungen in sozialen Netzwerken schnell auf Schlagworte durchsuchen zu können, können Sicherheitskräfte künftig auf eine Technologie aus dem Fraunhofer FKIE setzen. Sie kombiniert eine Telefonüberwachung mit einer Suchmaschine für soziale Netzwerke. Ist eine Person verdächtig und hat ein Richter eine Telefonüberwachung genehmigt, lassen sich zunächst die Telefonate analysieren. Dies erfolgt in drei Stufen. In der



Das System NewsHawk kann helfen, Täter und Risikogruppen aus der Masse herauszupicken. © ddp images, Stocksy/F1online

ersten Stufe wird untersucht, an welchen Stellen des Telefonats überhaupt gesprochen wird oder wo im Gegensatz dazu etwa nur Hintergrundgeräusche zu hören sind. In einem zweiten Schritt vergleicht das System die Sprachstellen mit hinterlegten Sprachproben und ermittelt auf diese Weise die Identität der Sprechenden Personen, die bei der Nutzung von Pre-Paid-Handys ansonsten kaum aufzudecken wäre. Und in einem dritten Schritt sucht es nach dem Vorkommen von Schlagworten, die von den Ordnungskräften vorab eingegeben wurden. Haben die Einsatzkräfte auf diese Weise einen vagen Anfangsverdacht weiter erhärtet, können sie mit dem System NewsHawk analysieren, was die entsprechenden Personen auf sozialen Netzwerken wie Twitter posten.

Auch im Nachgang von Anschlägen kann die Technologie hilfreich sein – etwa um über das Netzwerk des Täters weitere Drahtzieher aufzufindig zu machen und so wiederum weitere Anschläge zu vermeiden. »NewsHawk fungiert dabei wie eine Suchmaschine für Twitter«, sagt Prof. Dr. Ulrich Schade, Forschungsgruppenleiter »Informationsanalyse« am Fraunhofer FKIE. Zunächst einmal erstellt das Tool eine Art Karte, in der die unter dem Suchwort – etwa dem Hashtag #Halle0910

– am häufigsten sonst vorkommenden Begriffe in Kreisen entsprechender Größe dargestellt werden. Klickt der Ermittler auf den Kreis zu einem dieser Begriffe, zeigt das System ihm alle Tweets an, die auch diesen Begriff enthalten. Dabei kann er priorisieren und Regeln angeben, beispielsweise: Suche alles, wo das Wort XY enthalten ist, aber nicht das Wort Z.

In einem zweiten Schritt untersucht ein Analysetool, das die Forscher via Machine Learning an die Aufgabe angepasst haben, die Textfiles auf die Gefühle, die darin zum Ausdruck gebracht werden. Befürwortet ein Nutzer in seinem Tweet einen Anschlag, ruft er zu weiteren Gewalttaten auf, oder verurteilt er sie? »Dabei gilt es, die jeweilige Sprache einer radikalen Gruppe zu berücksichtigen. Denn ein Islamist verwendet andere Ausdrücke als ein Rechtsradikaler«, erläutert Schade. In einem dritten Schritt analysiert das Programm die Metadaten: Welcher Befürworter hat etwa welche Follower? Auf diese Weise konstruiert das Tool eine Netzwerkkarte – ausgehend vom Täter eines Anschlags. »Wirft ein geübter Polizeianalyst einen kurzen Blick auf eine solche Netzwerkkarte, sieht er sofort, wo sich ein problematischer Knoten befindet«, so Schade. ■

Radar,
Funkaufklärung
und akustische
Sensoren
arbeiten
zusammen
für die
Sicherheit

Vom Winde verweht

30 000 Windenergieräder drehen sich in Deutschland. Viele von ihnen kommen langsam in die Jahre. Dieses Jahr mussten 2000 Rotorblätter entsorgt werden, 2024 werden es schon 15 000 sein. Doch wohin mit den bis zu 90 Meter langen und rund 15 Tonnen schweren Ungetümen?

Text: Sonja Endres

Wenn wir die Klimaziele erreichen wollen, müssen wir in den nächsten 30 Jahren in Deutschland die Zahl der Windenergieanlagen verzehnfachen, sind Fachleute überzeugt. Es müssen jedoch nicht nur neue Windkraftanlagen installiert, sondern auch zahlreiche alte entsorgt werden – wegen Materialermüdung oder einfach, weil sie noch größeren und effizienteren Anlagen weichen.

Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT prognostiziert: Zu den 15 000 Rotorblättern, die 2024 aussortiert werden müssen, kommen in den folgenden drei Jahren 72 000 hinzu. Für den in den Windkraftanlagen verbauten Stahl oder Beton gibt es bereits umweltverträgliche Entsorgungsverfahren, schwierig bleibt das Recycling der Rotorblätter.

Fest verklebt und kaum zu trennen

Rotorblätter bestehen nicht aus Stahl. »Das wäre zu schwer und unbeweglich. Sie sind größtenteils aus mit Glasfasern verstärktem Kunststoff (GfK) und Balsaholz, das mit Epoxid- oder Polyesterharz verklebt ist«, sagt Projektleiter Peter Meinschmidt vom Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI in Braunschweig. Die Klebeverbindung ist extrem fest. Das muss sie auch sein – die Rotorblätter erreichen Spitzengeschwindigkeiten von über 250 Kilometern pro Stunde, die Krafteinwirkung ist enorm.



Rund 20 Prozent des Stroms wurden in Deutschland 2018 von Windenergieanlagen erzeugt. © Hans-Peter Merten/MATOfoto

Für ein sortenreines Recycling ist jedoch genau das das Problem: Die einzelnen Bestandteile des Materialverbundes sind nur schwer voneinander zu lösen.

Balsaholz ist eines der leichtesten Hölzer der Welt und wird unter anderem im Modellbau eingesetzt. Es wiegt nur 40 bis maximal 130 Kilo pro Kubikmeter – Fichtenholz etwa 500. Ein Klötzchen Balsaholz in der Größe eines Zauberwürfels liegt in der Hand wie eine Feder. Ein Arbeiter trägt einen Stamm auf seiner Schulter aus der Plantage – ohne Anstrengung.

In einem Rotorblatt stecken rund 15 Kubikmeter des Holzes, das nicht nur extrem leicht ist, sondern auch extrem druckfest. »Das ist der entscheidende Vorteil von Balsaholz gegenüber den meisten Kunststoffschäumen«, erklärt Meinschmidt. Das exquisite Holz wird vor allem in Ecuador angebaut. Bisher gab es keine Möglichkeit, es bei der Entsorgung der alten Rotorblätter zurückzugewinnen. »Obwohl es kaum einen Brennwert hat, wird es im Materialverbund verbrannt, meistens in Zementfabriken. Die Zementrohstoffe müssen auf etwa 1500 Grad erhitzt werden, bis sie miteinander verschmelzen und Zementklinker entsteht. Die Fabriken haben deshalb einen hohen Energiebedarf. Außerdem können die geschmolzenen Glasfasern und die Asche später dem Zement beigemischt werden und Teile des Quarzandes ersetzen, der dem Prozess sonst zugeführt werden müsste.«

Doch die Zahl der Zementwerke in Deutschland ist mit insgesamt 53 überschaubar, ihr Bedarf an Rotorblättern als Brennmaterial ebenfalls. »Mittlerweile sind einige Rotorblattschrottplätze entstanden. In der Nähe von Flensburg gibt es einen, da warten bereits heute Tausende von Rotorblättern auf ihre Verschrottung oder ein Second Life im Ausland. Die Schrottplätze dienen auch als Ersatzteillager, falls bei älteren Modellen mal ein Teil defekt ist und ausgewechselt werden muss.« Die Kapazitäten sind allerdings beschränkt und jetzt schon so gut wie ausgeschöpft.

Es gibt aber Hoffnung, der drohenden Rotorblattflut Herr zu werden: Meinschmidt hat mit seinem Team, den Kollegen vom Fraunhofer ICT und Partnern aus der Industrie eine neue Recyclingtechnik entwickelt. Damit man das Balsaholz aus den Rotorblättern zurückgewinnen und wiederverwerten kann, werden die abgenommenen Blätter noch an ihrem Standort zerlegt. »Klassischerweise wird das Rotorblatt mit einer Bandsäge gedrittelt oder geviertelt, was jedoch relativ

aufwendig ist. Wir sind daher auf die Idee gekommen, es stattdessen mit einer Wasserstrahlanze zu probieren. Und siehe da: Es ging deutlich schneller und besser«, erzählt Meinschmidt begeistert. Die Lanze kann an einem speziellen Fahrzeug befestigt und von dort aus gesteuert werden. »Mit der Hand könnten wir sie aufgrund des gewaltigen Rückstoßes nur schwer führen.« Die zehn bis zwanzig Meter großen Rotorblattstücke werden dann noch vor Ort in eine mobile Zerkleinerungsmaschine gepackt, die sie in etwa handteller-große Stücke bricht.

Mithilfe einer sogenannten Prallmühle gelingt es den Forschern schließlich, diese Stücke in ihre einzelnen Bestandteile zu trennen. Dafür werden sie in Drehungen versetzt und mit hoher Geschwindigkeit auf Metall geschleudert. Meinschmidt erklärt: »Das Verbundmaterial bricht dann auseinander, weil das Holz zähelastisch ist, während Glasfaser und Harz sehr hart sind.«

Dämmen mit Rotorblättern

Die Balsaholzstücke werden am Fraunhofer WKI unter anderem zu extrem leichten Holzfaser-Dämmstoffmatten verarbeitet. »Bei den Gebäude-Dämmstoffen sind zurzeit etwa zehn Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen – da ist noch Luft nach oben.« Die Matten sind mit einer Dichte von unter 20 Kilo pro Kubikmeter bisher einzigartig auf dem Markt und bieten eine ähnlich gute Dämmung wie gängige Materialien aus Styropor.

Auch ein neuartiger, elastischer Holzschaum lässt sich aus dem recycelten Balsaholz herstellen. Dafür wird es sehr fein gemahlen und mit Schaummittel versetzt. Die Festigkeit des Schaums entsteht durch holzeigene Bindekräfte, die den Einsatz von synthetischen Klebstoffen überflüssig machen. Der Schaum eignet sich als umweltfreundliches Dämm-, aber auch als Verpackungsmaterial, das einfach im Altpapier-Container entsorgt werden kann. Für die Autoindustrie ist der flexible Holzschaum ebenfalls interessant. »Wärmeisolation ist bei E-Autos ein großes Thema. Ohne Verbrennungsmotoren gibt es keine Abwärme, die für die Heizung genutzt werden kann. Die Wärmeenergie muss deshalb die Batterie liefern, die Reichweite sinkt«, so Meinschmidt. Ideen für die Weiterverwertung des wertvollen Balsaholzes aus den Windrädern gibt es genug – dank der neuen Fraunhofer-Recyclingtechnik gibt es jetzt auch die Möglichkeit dazu. ■

Die nachhaltigen Holzfasermatten sind extrem leicht und isolieren ebenso gut wie Styropor.

Fraunhofer weltweit

Diamant-Elektroden bauen resistente Umweltgifte ab



Langlebigkeit kann zum Fluch werden: Polyfluorierte organische Verbindungen, die eingesetzt werden, um Oberflächen wasser-, schmutz- und fettabweisend zu machen, können durch natürliche Prozesse nicht ausreichend abgebaut werden und häufen sich dadurch in der Umwelt an. Gelangen sie mit dem Abwasser einmal in die Nahrungskette, so werden sie von Pflanzen und Tieren aufgenommen und angereichert. Weltweit wurden in menschlichen Gewebeprobe Spuren der Chemikalien gefunden. Die PFAS – die englische Abkürzung für per- and polyfluoroalkyl substances – stehen im Verdacht, das Immunsystem zu schwächen, die Fruchtbarkeit zu beeinträchtigen und Krebs zu verursachen.

»Bisher gab es keine guten Möglichkeiten, diese Verbindungen dauerhaft aus dem Stoffkreislauf zu eliminieren. Die Chemikalien widerstehen weitestgehend Bakterien und Sonnenlicht. Man kann sie zwar mit Aktivkohle, Ionenaustauschern oder Umkehrosmose aus wässrigen Lösungen herausfiltern, aber die PFAS sind immer noch vorhanden und können nicht abgebaut werden«, erklärt Michael Becker vom Fraunhofer USA Center for Coatings and Diamond Technologies an der Michigan State University. Die PFAS-Belastung ist im US-Bundestaat Michigan ein brisantes Thema: In Flüssen und Grundwasser, aber auch in Menschen und deren Nahrungskette fanden die Behörden erhöhte Konzentrationen.

Zusammen mit seinem Team entwickelt er ein Verfahren, mit dem sich PFAS in ihre Bestandteile aufspalten lassen. Für die »elektrochemische Oxidation« verwenden die Forscher Elektroden aus Diamant. Diese werden durch den Einbau von Bor-Atomen elektrisch leitfähig. Die polyfluorierten organischen Moleküle werden an der Anode direkt oder mithilfe von hochreaktiven Hydroxyl-Radikalen oxidativ abgebaut. Dieser Prozess mineralisiert die resistenten Moleküle vollständig in Wasser, Kohlendioxid und unschädliche Fluoride.

Im Labor hat sich die Technik bereits bewährt. Die Fraunhofer-Forscher optimieren den Prozess jetzt für den Einsatz in der Praxis. Die Stadt Grand Rapids im US-Bundesstaat Michigan hat gerade 300 000 US-Dollar für die Technologie-Entwicklung bewilligt.

Wertstoffe und Trinkwasser aus heißen Quellen



Wasser ist im Norden Chiles ein knappes Gut. Dabei befinden sich unter der trockenen Oberfläche hydrothermale Quellen – diese eignen sich jedoch nicht, um den Durst zu löschen: Sie sind heiß und salzig, denn sie enthalten viel Magnesium, Lithium und Kalium, daneben auch Gold und Bor.

»Die Sole ist eine wertvolle Ressource. Man kann sie nutzen, um Energie, Trinkwasser und Mineralstoffe zu gewinnen«, erklärt Dr. Joachim Koschikowski, Forscher am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme und Koordinator des deutsch-chilenischen Projekts BrineMine – deutsch: Sole-Bergbau.

Ein deutsch-chilenisches Team aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen, darunter auch das Fraunhofer CSET Chile, entwickelt jetzt ein Verfahren, mit dem sich die Sole in ihre Bestandteile zerlegen lässt. Die dafür nötige Energie

lässt sich aus den hydrothermalen Quellen gewinnen.

Im ersten Verfahrensschritt wird das mineralstoffreiche Wasser durch eine Membran gepresst, die nur für H_2O durchlässig ist. Auf diese Weise entsteht reines Wasser. Übrig bleibt eine mineralstoffreiche Restlösung, die sich im zweiten Schritt noch weiter auftrennen lässt: Durch Erhitzen verdampft das restliche Wasser, passiert eine Membran und kondensiert auf der anderen Seite an einer kalten Oberfläche. Das Kondensat hat Trinkwasserqualität. Der feste Rückstand aus Mineralstoffen kann nun chemisch aufgetrennt und genutzt werden.

»In dem vom BMBF geförderten Projekt wollen wir zeigen, dass die Technik nicht nur funktioniert, sondern auch wirtschaftlich ist«, betont Koschikowski. 2021 soll eine Demonstrationsanlage in Betrieb gehen, die 100 Liter Trinkwasser pro Tag produziert.





Shrimps-Farm produziert Sonnenstrom



Das Mekongdelta ist Reiskammer, Obst- und Gemüsegarten sowie Fischlieferant Vietnams. Gleichzeitig leben hier 21 Millionen Menschen. Platz ist daher knapp. Im Projekt SHRIMPS – die Abkürzung für »Solar-Aquaculture Habitats as Resource-Efficient and Integrated Multilayer Production Systems« – entwickeln Forscher vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zusammen mit ihren deutschen und vietnamesischen Partnern Konzepte für die Mehrfachnutzung der kostbaren Flächen. »Ziel ist es zu zeigen, dass sich die Gewinnung von Solarstrom kombinieren lässt mit Aquakulturen, in denen Shrimps oder auch Fische kultiviert werden«, erklärt Projektleiter Max Trommsdorff.

Immer mehr Aquakulturen entstehen in Vietnam an Land, weil sich hier die Wachstumsbedingungen besser kontrollieren lassen. »Vor allem Shrimps sind sehr sensibel, sie brauchen bestimmte Wassertemperaturen und Schutz vor Fressfeinden. Vielerorts überspannen die Farmer ihre Teiche mit Netzen

oder überbauen sie mit geschlossenen Gewächshäusern«, berichtet Trommsdorff. Da man die Solarmodule in die Dächer integrieren könne, biete es sich geradezu an, Überdachung und Photovoltaik zu kombinieren.

Um die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Aqua-Photovoltaik zu demonstrieren, werden jetzt zwei Pilotanlagen gebaut: Ein geschlossener Shrimp-Photovoltaik-Tunnel mit einer Leistung von einem Megawatt. Außerdem eine zweite – kleinere – Anlage, die auf Stützen über Fischteichen steht. Auch diese spendet Schatten, senkt damit die Verdunstung und hält Fressfeinde ab. Gleichzeitig liefern die Module mit einer Leistung von 400 Kilowatt genug Strom, um den Bedarf der Farm – die nicht ans Netz angeschlossen ist – zu decken.

»Bei der Aqua-PV gehen wir momentan davon aus, dass die Landnutzungsrate im Vergleich zu einer reinen Freiflächen-Photovoltaikanlage annähernd verdoppelt werden kann«, resümiert Trommsdorff.

Neue Wirkstoffe gegen Grippe



Grippeerreger vermehren sich rasant und sind schwer zu stoppen: Wer sich infiziert hat, versprüht mit jedem Husten- oder Niesanfall Tröpfchen, die Viren enthalten. Werden diese von einem anderen Menschen in der Umgebung eingeatmet, so verschaffen sich die Viren über die Schleimhäute Zugang zu den Zellen, vermehren sich dort und breiten sich im Körper aus.

»Die gängigen Medikamente, wie beispielsweise Tamiflu, helfen oft nicht mehr, weil die Influenza-Viren Resistenzen gebildet haben«, erklärt Dr. Jana Führung vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM. »Was wir brauchen, sind neue Wirkstoffe.«

Im Forschungskonsortium »iCAIR« entwickeln ITEM-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammen mit der Medizinischen Hochschule Hannover und dem Institute for Glycomics der australischen Griffith University neue

Wirkstoff-Kandidaten gegen Grippe-Viren. Diese können die Ausbreitung von Influenza-Erregern stoppen, indem sie bestimmte Moleküle an der Virus-Oberfläche blockieren.

»Diese Moleküle sorgen dafür, dass sich Grippeviren von der Oberfläche der menschlichen Zellen wieder lösen können. Wenn es uns gelingt, diesen Mechanismus auszuschalten, infiziert das Virus zwar eine Zelle, kommt von dort aber nicht mehr los. Der Erreger kann sich dann nicht mehr ausbreiten«, erläutert Führung.

Die neuen Grippe-Wirkstoffe werden derzeit am ITEM in Hannover in eigens hierfür entwickelten Infektionsmodellen getestet. Diese verwenden lebendes menschliches Lungengewebe mitsamt der darin enthaltenen Immunzellen. Mithilfe dieser Gewebekulturen können die Forscherinnen und Forscher untersuchen, wie die Lungen- und Immunzellen auf eine Virusinfektion beziehungsweise die Behandlung reagieren. Bisher sind alle präklinischen Tests erfolgreich verlaufen.

Vor Weihnachten werden 690 Millionen Pakete zugestellt – 14 Millionen Pakete am Tag. Ein intelligentes Packsystem spart Zeit, Volumen – und Kosten.

© Jochen Zick / action press





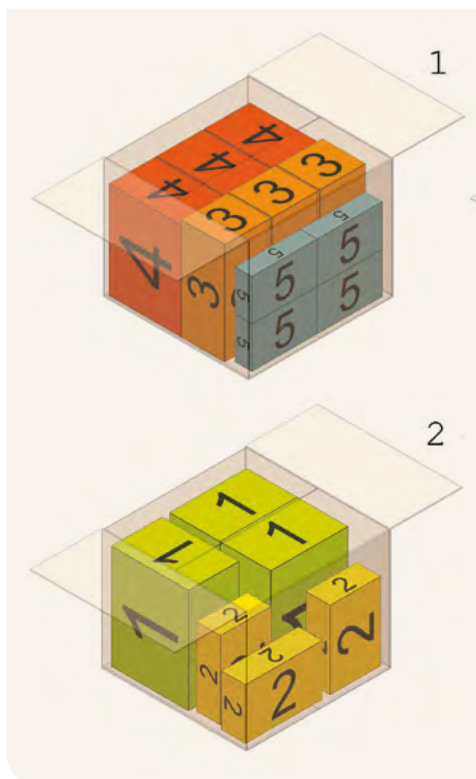
Die Kunst des Packens

Während der Weihnachtszeit kommen die Logistikdienstleister an ihre Grenzen. Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML liefert die Lösung – eine optimierte und effizientere Paketverpackung durch einen intelligenten Packassistenten.

Text: Winnie Winkler

One-Shopping bleibt im Trend. 690 Millionen Pakete werden laut Prognose im Weihnachtsgeschäft 2019 zugestellt, rund 14 Millionen Pakete Tag für Tag. Auch Nachhaltigkeit liegt im Trend. Das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund forscht für optimierte und effizientere Paketverpackung – und hat gemeinsam mit

dem Maschinenbauunternehmen Hüdig + Rocholz einen intelligenten Packarbeitsplatz entwickelt, der sich speziell für den Versandhandel mit seinen heterogenen Waren eignet. Die Vorteile: Zeitersparnis beim Versenden, weniger Transportschäden, geringeres Volumen und damit weniger Materialeinsatz bei geringeren Kosten. Auf der Logistikmesse LogiMAT in Stuttgart soll das Vorserienmodell im Februar 2020 vorgestellt werden. ▶



»PUZZLE« berechnet dem Packer die zu verwendende Versandkartonage und die Anordnungen der Artikel darin. Außerdem kann »PUZZLE« dabei Artikelsorten (Farbe und Nummer der Artikel) zusammenhalten. © Fraunhofer IML



Dank »PUZZLE« und »passt« können in Zukunft Kartonagen gespart werden – im Transporter finden mehr Waren Platz. © Sina Schuldt/dpa

Das Assistenzsystem »passt« unterstützt die Mitarbeiter dabei, die beste Verpackung zu finden.

► Die Entwicklung des Packarbeitsplatzes ist Ergebnis einer Kooperation zweier Abteilungen am Fraunhofer IML: Die Abteilung für Software & Information Engineering entwickelte die Software »PUZZLE« zur Verpackungsoptimierung. Die Abteilung für Verpackungs- und Handelslogistik erarbeitete mit »passt« ein neuartiges Assistenzsystem, das die Ergebnisse von »PUZZLE« visualisiert.

In dem Transferprojekt »iPackAssist« des Fraunhofer IML mit der Hüdig + Rocholz GmbH soll die Integration beider Technologien vom Prototypenstatus in einen Vorserienstatus überführt werden. Beide Entwicklungen wurden von dem wissenschaftlichen Team des Fraunhofer IML um Georg Wichmann, Benedikt Mättig und Christian Olms maßgeblich erforscht. »PUZZLE« berechnet das Volumen des Pakets und stellt weitere Informationen über den Assistenten »passt« zur Verfügung, der die Mitarbeitenden beim Packen unterstützen soll. Da der Assistent durch Visualisierungen einfach zu verstehen ist, müssen die Mitarbeitenden nicht zeitintensiv geschult werden und scheitern dann im Arbeitsalltag auch nicht an Sprachbarrieren.

Das gemeinsame Transferprojekt soll helfen, den interaktiven Verpackungsarbeitsplatz der Zukunft zu entwickeln. Bisher wurde es den Mitarbeitenden überlassen, welches Kartonformat sie für die jeweilige Sendung wählen und wie sie die Artikel im Karton anordnen. »PUZZLE« ermittelt Abmessungen, Gewichte und Stückzahlen – und errechnet daraus das optimierte Packen. »passt« führt als Mensch-Maschine-Schnittstelle den Mitarbeitenden durch den Verpackungsprozess.

Wie funktioniert?

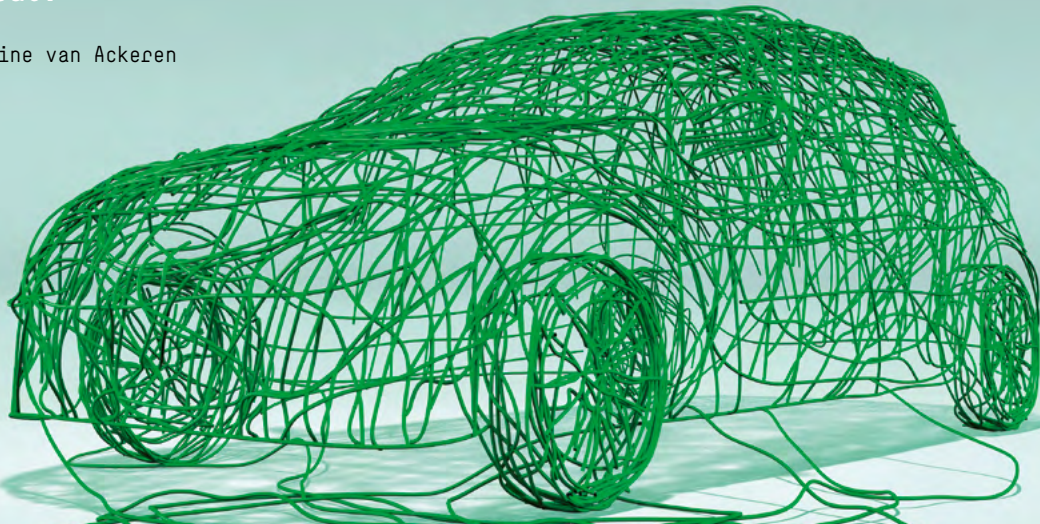
Das Assistenzsystem besteht aus zwei beleuchteten Leisten, welche im rechten Winkel im Tisch eingebettet sind, angeordnet wie in einem Koordinatensystem. Sie geben die Orientierung, wo die Kartonage platziert werden soll. LED-Lampen leuchten an den Stellen, an denen die Pakete eingebettet werden können. Zudem werden verschiedene Farben genutzt, um weitere Zusatzinfos zu geben wie zum Beispiel die maximale Belastung oder Gruppenzugehörigkeit eines Pakets. Das System hat durch intelligente Assistenz eine steile Lernkurve. ■

© Stocksy/F1online

Wasserstoff nimmt Fahrt auf

Das leichteste chemische Element könnte zum Schwergewicht werden: Wasserstoff, als bisher wenig beachteter Faktor in der Klimapolitik, verspricht eine neue Mobilität.

Text: Janine van Ackeren



Gute Leistungen«, hat der ADAC im Test bescheinigt, »lautlos gleiten«. Und bei seinem Test eines Wasserstoffautos im Oktober hat er festgestellt: »Das Tanken ist in fünf Minuten erledigt.«

Dem Wasserstoff-Auto kann die Zukunft gehören. Ein Potenzial von bis zu 1,8 Millionen Brennstoffzellen-Pkw auf deutschen Straßen 2030 haben Fraunhofer-Experten errechnet. Größte Bedeutung könnte Wasserstoff auch für deutsche Autobauer in den internationalen Märkten erreichen. So plant Südkorea 1,8 Millionen Brennstoffzellen-Pkw bis 2030, China strebt eine Million an. Wer sich heute für ein Wasserstoff-Auto interessiert, stößt bislang nur auf vier Modelle: Toyota Mirai, Hyundai NEXO, Hyundai ix35 und Mercedes-Benz GLC. Das öffentliche Tankstellennetz ist noch weit davon entfernt, als dicht bezeichnet werden zu können – Ende 2019 kommt Deutschland auf etwa hundert Wasserstoff-Tankstellen. Doch die Wasserstoff-Mobilität nimmt Fahrt auf. ▶

► Nach 2020 sind verschiedene neue Fahrzeugmodelle angekündigt, so etwa von Audi und BMW. Auch der Tankstellenausbau schreitet voran, bis 2023 soll es 400 Wasserstoff-Tankstellen geben, bis 2030 bereits 1000. Während der klassische SUV in Großstädten als Statussymbol inzwischen von manchen gemustert wird wie einst der Pelzmantel, gibt es Potenzial, dass Wasserstoff die neue Mode wird. Das Interesse der Politik wächst. Und die Fraunhofer-Institute ISI in Karlsruhe und ISE in Freiburg haben mit Beteiligung von Kolleginnen und Kollegen aus den Instituten IMWS in Halle und IKTS in Dresden eine »Wasserstoff-Roadmap« für Deutschland erstellt. Darin sind klare Empfehlungen formuliert, wie die Politik das Wasserstoff-Auto schneller auf die Straße bringen kann. Die Unterstützung des Tankstellenaufbaus zählt dabei zu den wesentlichen Schritten mit dem Ziel, bis 2030 mit öffentlicher Förderung 1000 Tankstellen in Betrieb zu haben. Und: »Zur Unterstützung des Markthochlaufs bieten sich Anreize zu emissionsfreier Mobilität in der öffentlichen Beschaffung an (Dienstfahrzeuge, Polizeifahrzeuge, Gütertransport).«

Wasserstoff- versus Elektroantrieb

Welcher Antrieb ist sinnvoll, wenn Deutschland und Europa die Klimaziele ernst nehmen? Dieser Frage sind Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in der Studie »Industrialisierung der Wasserstoff-Elektrolyse in Deutschland« nachgegangen. Im Blickpunkt standen vor allem die CO₂-Emissionen von batteriebetriebenen, Diesel- und Wasserstoff-Fahrzeugen, sprich die Treibhausgas-Bilanz. »Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass bei verschiedenen Einsatzgebieten und Fahrzeugtypen Wasserstoff-Brennstoffzellen die günstigste Option darstellen«, sagt Prof. Hans-Martin Henning, Leiter des Fraunhofer ISE. »Daher sehen wir Brennstoffzellenfahrzeuge als einen Schlüsselbeitrag zur Mobilität der Zukunft, welcher andere klimaneutrale Antriebsformen komplementieren wird.« Sollte man nun also besser auf Elektro- oder Wasserstoffantrieb setzen? Auch diese Frage beantwortet die Studie: Bei geringen Reichweiten und reinen Stadtfahrten punkten die Batteriefahrzeuge. Übersteigen die Reichweiten dagegen 250 bis 300 Kilometer, sind Wasserstoff-Fahrzeuge überlegen.

Auch die Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI untersuchten, wie Wasserstoff zur Defossilisierung beitragen kann – in der »Roadmap Gas«, die sie für das Umweltbundesamt erstellten. »Wasserstoff spielt vor allem dort eine zentrale Rolle, wo sich elektrische Energie schlecht direkt nutzen lässt – also etwa im Schwerlast-, Schiffs- und Flugverkehr«, fasst Prof. Mario Ragwitz, stellvertretender Leiter des Fraunhofer ISI, zusammen. Wirft man einen Blick auf die Anzahl der schweren Lkw und Sattelzugmaschinen, so ist diese mit 230 000 Fahrzeugen in Deutschland im Vergleich zur Pkw-Zahl sehr gering. Jedoch steckt hier ein gewaltiges Potenzial: Denn die schweren Lkw sind für die Hälfte der Emissionen des Straßengüterverkehrs verantwortlich.

Würde man hier auf Brennstoffzellen-Antriebe setzen, könnte man die Emissionen bereits deutlich senken.

Brennstoffzellen-Antriebe

Die bekannteste Art, Wasserstoff als Kraftstoff zu nutzen, ist die Verstromung mit Brennstoffzellen. Dabei wird Wasserstoff in einem speziellen Tank mitgeführt, in der Brennstoffzelle zu Strom umgesetzt und über einen Elektromotor für den Antrieb genutzt; unterstützt wird das System in der Regel durch einen kleinen Batteriespeicher für Lastspitzen. Für Anwendungen im Bereich der Mobilität haben sich Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen, kurz PEM-Brennstoffzellen, durchgesetzt: Diese erzielen eine hohe Leistungsdichte und sehr hohe Dynamiken – wie sie beispielsweise beim schnellen Beschleunigen benötigt werden. »Die Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen ermöglichen eine emissionsfreie Mobilität in allen Fahrzeugklassen, also bis hin in den Bus- und Schwerlast- sowie schienengebundenen Verkehr«, sagt Prof. Christopher Hebling, Bereichsleiter am Fraunhofer ISE. »Durch unsere Forschungsarbeiten von der Grundlagenentwicklung bis zur Produktionsforschung helfen wir dabei, dass die Brennstoffzellenmobilität die gleiche Zuverlässigkeit wie die verbrennungsmotorische Mobilität aufweist – und das bei gleichen Herstellungskosten.«

Bislang sind noch viele Sensoren nötig, um der Brennstoffzelle den Wasserstoff kontinuierlich und in der jeweils benötigten Menge zuzuführen. Diese treiben jedoch die Kosten und erhöhen die Fehleranfälligkeit des Systems. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU entwickeln im Projekt Eco-CC daher gemeinsam mit Partnern ein wirtschaftliches und zugleich zuverlässigeres Mess- und Regelungskonzept. »Mit diesem Konzept stellen wir sicher, dass die Brennstoffzelle mit größtmöglicher Sicherheit und Robustheit arbeitet«, erklärt Prof. Welf-Guntram Drossel, Leiter des Fraunhofer IWU. Für die Optimierung müssen die Forscherinnen und Forscher zahlreiche Parameter und Messsignale im Blick haben: Druck, Temperatur, Feuchte, elektrische Spannung, elektrischer Strom, Gaskonzentrationen, Massenströme und elektrische Leitfähigkeiten. »Wir kombinieren diese Sensordaten mit Prozessmodellen, die so gewonnenen Erkenntnisse fließen in das Regelungskonzept ein«, fügt Drossel hinzu. Das Ziel: Die Brennstoffzellen sollen durch das Regelungskonzept wirtschaftlicher und effizienter werden.

Die Lebensdauer von Brennstoffzellen hat einen großen Einfluss darauf, ob sich Wasserstoff-Autos auf Dauer durchsetzen werden. Denn muss man die Brennstoffzelle in einem Auto nach einigen Jahren austauschen lassen, so ist dies mit Mühen und Kosten verbunden. Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM arbeiten daran, diese Lebensdauer zu verlängern. Dabei setzen sie an den keramischen und metallischen Materialien an, die in Brenn-

In der Stadt und bei kurzen Strecken haben Batteriefahrzeuge ihre Vorteile. Bei Reichweiten über 250 Kilometern beginnt die Überlegenheit der Wasserstoff-Fahrzeuge.

stoffzellen verbaut werden. Ist die Kristallstruktur eines solchen Materials perfekt aufgebaut, diffundiert der Wasserstoff optimal hindurch. An Strukturdefekten wie Korngrenzen oder Versetzungen kann sich der Wasserstoff anlagern – dies führt zu mechanischen Spannungen, daraus entstehen Risse und letztlich versagt das Bauteil. Mit quantenphysikalischen und kontinuumsmechanischen Berechnungsmethoden analysieren Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IWM theoretisch, wie Wasserstoff durch Metalle und Keramiken diffundiert. Wie Wasserstoff auf Werkstoffe wirkt, bestimmen sie experimentell mit mechanischen Belastungstests. Die Diffusion von Wasserstoff durch dünne Materialschichten messen sie beispielsweise mit einer Permeationszelle. Aus der mit der Zeit durch die Schicht dringenden Menge des Gases lassen sich Rückschlüsse auf die Materialstruktur ziehen und Empfehlungen geben, wo Schwachstellen sind und wie sich diese vermeiden lassen.

Wasserstoff bereitstellen: Eine durchaus knifflige Angelegenheit

Nutzt man Wasserstoff als Treibstoff, muss dieser gefahrlos und möglichst unkompliziert bereitgestellt werden können. Für die traditionelle Speicherung sind tiefe Temperaturen (-253 °C) oder hohe Drücke von mehreren hundert Bar nötig. An Tankstellen und in Autotanks ist dies mit erheblichem Aufwand verbunden. »Am Fraunhofer IFAM Dresden entwickeln wir eine einfach handhabbare Paste, in der sich der Wasserstoff bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck chemisch speichern lässt. Wird er benötigt, lässt er sich über die Zugabe von Wasser bedarfsgerecht freisetzen«, erläutert Dr. Lars Röntzsch vom Fraunhofer IFAM Dresden. Ein anderer Ansatz liegt darin, den Wasserstoff in Öl einzubringen, wo er chemisch gebunden wird. Man spricht dabei auch von Liquid Organic Hydrogen Carriers, kurz LOHC. Die Forschenden vom Fraunhofer ISE untersuchen, wie man dieses Öl in die Tankstelle integrieren kann. Wie muss die Tankstelle dafür aufgebaut sein? Wie lässt sich der Wasserstoff vor Ort wieder aus dem Öl herauslösen? Europas ersten LOHC-Wasserstoffspeicher neuester Generation haben Forscher am Fraunhofer IAO aufgebaut: Er hat eine Speicherkapazität von 2000 Kilowattstunden.

Sicherheit ist oberstes Gebot!

Neben den Brennstoffzellen-Antrieben gibt es auch die Möglichkeit, den Wasserstoff im Automotor direkt zu verbrennen. Welche Sicherheitsvorkehrungen dafür nötig sind, analysieren die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. »Wir untersuchen nicht die Eigenschaften des Wasserstoffs an sich – diese sind bestens bekannt – sondern den Wasserstoff im jeweiligen System«, erläutert Wilhelm Eckl, stellvertretender Leiter des Fraunhofer ICT. »Dabei betrachten wir verschiedene Möglichkeiten bis hin zum Worst-Case-Szenario.« Schließlich ist Wasserstoff nicht nur ein potenter Energieträger. Mit Luft gemischt, ist Wasserstoff bekanntlich auch explosiv. ■



© Hyundai



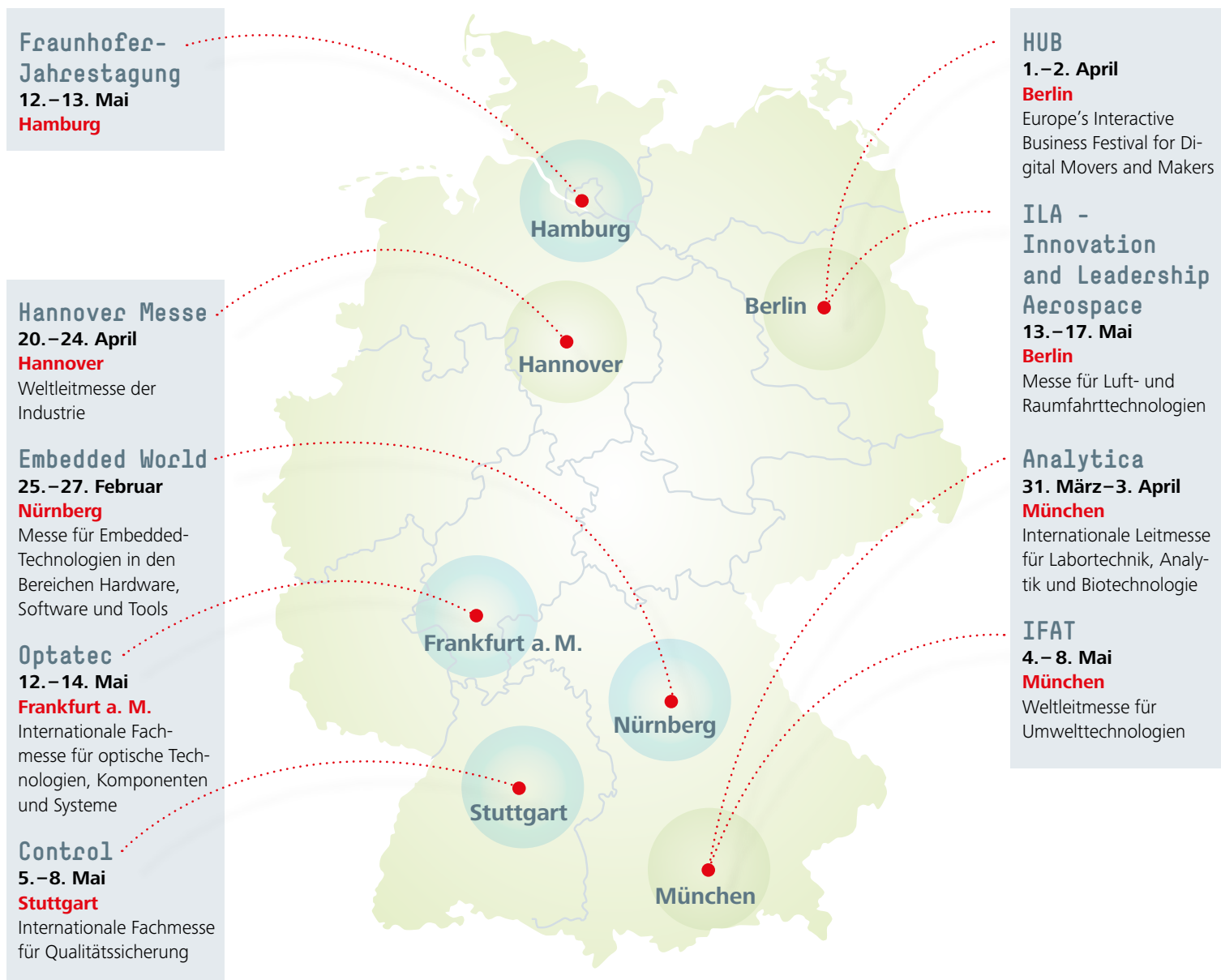
© Daimler AG



© Toyota

Aktuell sind vier Wasserstoff-Autos lieferbar: zwei Modelle von Hyundai, der Mercedes GLC und der Toyota Mirai. Die Zahl der aktuell etwa 100 Wasserstoff-Tankstellen soll bis 2023 auf 400 ausgebaut werden.

Wo was wichtig wird: Fraunhofer vor Ort



#WHATSNEXT



»Die Verbindung von Quanten und Künstlicher Intelligenz wird nicht weniger sein als eine zukünftige Schlüsseltechnologie, die unsere Wettbewerbsfähigkeit in den internationalen Hightech-Märkten absichern wird.«

Prof. Reimund Neugebauer,
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft