

Fraunhofer

weiter.vorn

Das Magazin

3/19

So hilft KI gegen Krebs

Wann wird das Auto
wirklich öko?

Wie Fraunhofer Daten
sicher macht

Hitlers Erbkönig – die letzten
Geheimnisse der Me 163

Mitarbeiterin
Fraunhofer IGD,
Darmstadt



HALLO JOSEPH!
#WHATSNEXT

Gehen Sie mit Joseph von
Fraunhofer auf Zeitreise!



Akzeptanz braucht Transparenz



Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

»Hey Siri, was ist Künstliche Intelligenz?« Sofort gibt die Apple-Sprachassistentin Antwort: »Das hier habe ich gefunden.« Sie verweist auf einen Wikipedia-Eintrag zu KI. Der Google-Assistent liest den Text aus dem Online-Lexikon gleich vor. Kollegin Alexa von Amazon gibt sich noch engagierter: »Künstliche Intelligenz ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens befasst.«

Im Alltag vieler sind die sprechenden Helfer aus dem Handy längst angekommen. Allerdings: Ihre Leistungsfähigkeit bleibt bescheiden. »Nach einer gewissen Zeit sind wir es, die gelernt haben, wie wir mit denen kommunizieren müssen, um die Antworten zu erhalten, die wir suchen«, bilanziert Prof. Wolfgang Schade vom Fraunhofer FKIE im Interview (S. 24). Er meint, dass die aktuellen Sprachassistenten bislang eher die menschliche Intelligenz fordern. Künstliche Intelligenz ist mehr, viel mehr. Alles spricht dafür, dass KI unser Leben von Grund auf verändern wird. So wie die Erfindung des Rades? So wie das Internet? So aufregend und vielschichtig und auf so vielen Ebenen entwickelt sich Künstliche Intelligenz, dass das Ausmaß der Veränderung heute noch nicht abzusehen ist. »Es gibt fast schon wöchentlich Fortschritte«, konstatiert Prof. Stefan Wrobel vom Fraunhofer IAIS in seinem Überblick über Mythen und Möglichkeiten (S. 22).

Wo Fortschritt disruptiv wird, wachsen die Ängste. Es gibt wohl kaum ein Feld, in dem wir das heute so deutlich spüren, wie im Bereich der Medizin. Wird der Computer in Zukunft medizinische Entscheidungen treffen? Die Antwort lautet: nein. Doch werden sich immer mehr Ärzte in ihren Entscheidungen auf die Hilfe Künstlicher Intelligenz stützen können. Die Titelgeschichte unseres Fraunhofer-Magazins beschäftigt sich mit den neuen, mit den überragenden Möglichkeiten, an denen Fraunhofer-Forschende heute arbeiten, um Künstliche Intelligenz im Dienst der Gesundheit von morgen einzusetzen. Jeder fünfte Mann und jede sechste Frau erhalten irgendwann im Lauf des Lebens die Diagnose Krebs. Deutschland hat 2019 die »Nationale Dekade gegen Krebs« ausgerufen. Das erklärte Ziel ist es, die Kräfte zusammenzu-

führen gegen eine Krankheit, die so viele betrifft. Fraunhofer-Forschende haben ihre Kräfte schon gebündelt. Im Leitprojekt MED²ICIN arbeiten sieben Institute unter Federführung des Fraunhofer IGD zusammen, um Künstliche Intelligenz zur wirkungsmächtigen Waffe im Kampf gegen Krebs zu entwickeln. Was sie tun, wie sie es tun und mit welchen Ergebnissen berichtet dieses Magazin auf 18 Seiten.

Die Genialität des Menschen ist seine Vielseitigkeit. Der technische Fortschritt hat dem Menschen stets Aufgaben abgenommen – und er hat ihm neue, vielseitigere, reizvollere Möglichkeiten geschaffen, die frei gewordene Zeit einzusetzen. Mensch und Maschine, so haben wir das oft genug in der Geschichte erleben können, ergänzen sich. Auch menschliche und maschinelle Intelligenz werden sich ergänzen. Da muss sich niemand Sorgen machen, wenn Technik auch jetzt einige Teilbereiche menschlichen Denkens übernehmen kann; so vieles bleibt, was den Menschen in seiner Einzigartigkeit und in seiner Vielseitigkeit beschäftigen wird.

Angst vor KI? Wir müssen über Künstliche Intelligenz umfassend informieren, denn Akzeptanz setzt Transparenz voraus. Vertrauen wir unserer menschlichen Intelligenz aus der Erfahrung der Vergangenheit – und mit Zuversicht für die Zukunft.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

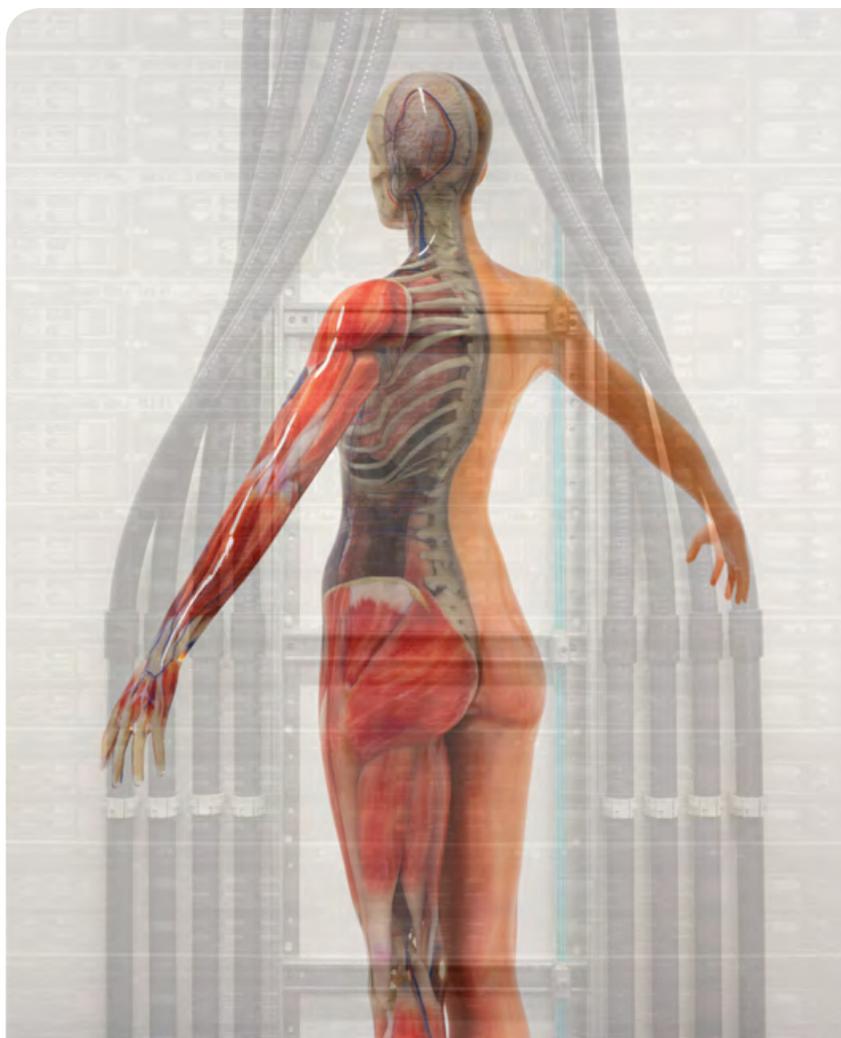
Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt

10 KI hat begonnen, den Kampf gegen Krebs zu revolutionieren
500 000 Menschen in Deutschland erkranken Jahr für Jahr an Krebs. Künstliche Intelligenz schafft neue Hoffnungen – und braucht neue Regeln

30 Forschen »for Future«
Klimaschutz: Schüler gehen auf die Straße, Fraunhofer-Forschende stattdessen – ins Labor



03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

10 Wie ein digitaler Zwilling Leben retten kann
Im Kampf gegen Krebs hat Fraunhofer seine Kräfte gebündelt im Leitprojekt MED²ICIN.

22 »Es gibt fast schon wöchentlich Fortschritte«
Prof. Stefan Wrobel, Fraunhofer IAIS, über Mythen und Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz

24 »Wir sind eine nette Gesellschaft«
Prof. Ulrich Schade, Fraunhofer FKIE, im Interview über den Kampf gegen Fake News

26 »Information kann Munition sein«
Wie Fraunhofer das »Ibiza-Video« auf seine Echtheit begutachtet hat

30 Kühlen ohne Klimagefahr
Magnetokalorik – eine 100 Jahre alte Entdeckung wird zum Hoffnungsträger

33 So hilft KI der Meerforelle
Der lange Weg vom Meer in die Flüsse

34 Schutz vor dem Terror
Das Fraunhofer ICT forscht mit Explosivstoffen, um das Fliegen künftig noch sicherer zu machen

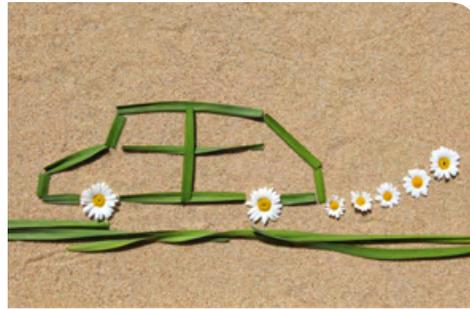
38 Scharf zum Fleisch, sanft zur Butter
Programmierbare Materialien – ein Blick in die Zukunft

40 Quantensensoren – fit für die Praxis
Neue Möglichkeiten für Mikro- und Nano-Elektronik, Medizintechnik und Prozessanalytik

42 International

61 Wann wird das E-Auto wirklich öko?

Die Bilanz ist komplex – aber jetzt sind alle Faktoren der Mobilität durchgerechnet



26 Forschen gegen Fake

»Ibiza«: Ein Politiker-Video erschüttert Österreich. Prof. Martin Steinebach vom Fraunhofer SIT hat seine Echtheit geprüft



34 Ab in den Urlaub. Aber sicher!

Das Fraunhofer ICT lässt es krachen – mit Explosivstoffen für die Flugsicherheit



58 Wer Wind ernten will, muss Energie speichern

Welche Batterietechnik für welchen Zweck? So kann die Öko-Wende gelingen

44 Zukunftsmarkt Indien

Für Fraunhofer arbeitet hier eine kleine Frau mit einer großen Liebe zu Deutschland. Anandi Iyer sagt: »Vielleicht war ich ja in einem früheren Leben Deutsche ...«

48 Wenn das Plättchen im Herzschlag pulsiert

Organ-on-a-Chip-Technik führt in die Zukunft einer geschlechterspezifischen Medizin – und kann künftig Versuchstieren das Leben retten

51 Das Supernetz

Dank Quantentechnik soll Datenübertragung abhörsicher gemacht werden. Wie Forschungsorganisationen gemeinsam eine neue Infrastruktur entwickeln

52 Querdenken hat sie ans Ziel gebracht

Die Fraunhofer-Forschungspreise: Medizin, Umwelt, Technik, Unterhaltung – alles für die Welt von morgen

58 Zukunftsthema Batterietechnik

Lithium allein kann nicht genügen – die Alternativen beim Energie-Speichern

61 Warum das E-Auto die Zeit auf seiner Seite hat

Fakten und Faktoren im Vergleich

62 Ein Prosit auf den Trigeminus!

Alkoholfreies Bier liegt im Trend. Das Fraunhofer IVV forscht am perfekten Genuss

64 Hitlers Erbkönig

So offenbart das erste Hochgeschwindigkeits-Jagdflugzeug der Welt seine letzten Geheimnisse

70 Deutschlandkarte

Messen, Kongresse, Veranstaltungen – wo wird welches Thema gerade wichtig?

Mehr als die Hälfte der Deutschen wollten, **Künstliche Intelligenz als automatisierte Zweitmeinung** einzubeziehen. Das ergab eine repräsentative Umfrage (n=1012) des Bundesverbandes Digitale Wirtschaft (BVDW). Mehr zu **KI und Medizin: ab S. 10.**

57%

Völlig von der Rolle?

Diesen Sommer überrollen E-Scooter die Großstädte. Schnell sind die Roller. Spaß machen sie auch. Aber schonen sie die Umwelt? **Drei Fragen an Stefan Blume** vom Fraunhofer IST, Projektleiter »Nachhaltige Fabrik-systeme und Life Cycle Management«.

1 Sind E-Scooter umweltfreundlich? Eine pauschale Antwort gibt es leider nicht – wie bei der E-Mobilität generell. Wer für tägliche Strecken vom Pkw auf einen Elektro-Scooter umsteigt, entlastet die Umwelt sicher. Wenn viele Nutzer vom ÖPNV auf den Scooter wechseln, wird dies eher negative Effekte auf die Gesamt-Umweltbilanz haben. Wer vom klassischen Fahrrad auf den E-Scooter wechselt oder sonst zu Fuß geht, belastet die Umwelt sogar zusätzlich – durch den Material- und Energiebedarf für die Herstellung und Nutzung des Scooters. Wir sprechen hier vom sogenannten Rebound-Effekt. Bei den E-Bikes bzw. Pedelecs können wir dieses Phänomen bereits seit Längerem beobachten, da das klassische Fahrrad vermehrt gegen ein elektrisch angetriebenes ausgetauscht wird.

2 Gibt es belastbare Studien zur Umweltwirkung von E-Scootern? Es gibt einige Studien, die den kompletten Lebensweg von elektrisch angetriebenen

Zweirädern beleuchten. Das Umweltbundesamt kam 2014 zu dem Ergebnis, dass bei der Nutzung eines Pedelecs bis zu 40 Mal weniger CO₂ pro gefahrenem Kilometer emittiert wird als bei Nutzung eines Pkw mit Verbrennungsmotor. Für E-Scooter dürfte Ähnliches gelten – auch wenn die Energiebedarfe etwas höher liegen als für Pedelecs. Bei denen wird ja zumindest ein Teil des Vortriebs mit Muskelkraft erzeugt.

3 Was würden Sie umweltbewussten Kunden empfehlen? Konsumverzicht ist der beste Beitrag zum Umweltschutz. Zu Fuß gehen oder klassisch Fahrrad fahren wird immer die ökologisch vorteilhafte Alternative bleiben. Denn neben der Erzeugung benötigter Energie zum Betrieb des Scooters ist insbesondere auch die Herstellung der Batterie mit signifikanten Umweltwirkungen verbunden. Aus ökologischer Sicht macht die Anschaffung nur Sinn, wenn Sie als Nutzer das Auto oder Motorrad künftig häufiger stehen lassen.



Der Trend dieses Sommers: E-Scooter haben in kürzester Zeit die Mobilität in den Großstädten verändert. Sie sind hip – aber nur unter bestimmten Umständen gut für die Öko-Bilanz. Nebenbei: Doppelnutzung ist nicht zulässig. Mehr zum Thema Elektromobilität ab Seite 58. © dpa



Andreas Turnwald hat seine Goldene Lola fest im Griff.
© Andreas Turnwald

Goldene Lola an Fraunhofer-Mitarbeiter

Andreas Turnwald erhielt den Deutschen Filmpreis für die Tongestaltung beim Extrem-Dreh zum Kinofilm »Styx«.

Der Dreh auf einem kleinen Boot auf offenem Meer mit ständigem Wellengang war eine Herausforderung – auch für Andreas Turnwald. Der Tonmeister war bei jeder Szene dabei und kümmerte sich um die Aufzeichnung des Originaltons.

Turnwald, Jahrgang 1975, arbeitet seit zwei Jahren im Forschungsbereich Audio- und Medientechnologien des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. Dort entwickelt Turnwald interaktiven 3D-Sound mit dem neuen Audioformat MPEG-H.

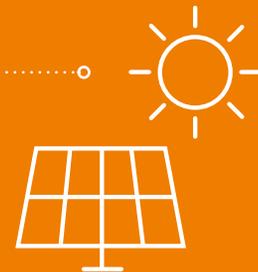
In »Styx« trifft die passionierte Seglerin Rike auf ein havariertes Flüchtlingsboot. Als ihre Hilfsgesuche unbeantwortet bleiben, muss sich Rike entscheiden – für oder gegen die Rettung der Flüchtlinge.

Neben der Goldenen Lola für die beste Tongestaltung von Fraunhofer-Mitarbeiter Andreas Turnwald erhielt »Styx« Gold in den Kategorien »Beste weibliche Hauptrolle« und »Beste Kamera/Bildgestaltung«, Silber in der Kategorie »Bester Film«. Der Deutsche Filmpreis Lola wird seit 1951 verliehen und gilt als renommierteste Auszeichnung für den deutschen Film.

7,17 Terawattstunden

konnten die Solaranlagen in Deutschland im Juni in die öffentlichen Netze einspeisen, hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE errechnet. Erstmals war in diesem Monat die Sonne die wichtigste Quelle der Stromerzeugung in Deutschland – knapp vor der Braunkohle und der Windenergie auf Platz 3.

Damit wird der Juni 2019 in die Geschichte der deutschen Energiewirtschaft eingehen. Sonnenstrom hat in diesem Monat 19 Prozent der sogenannten Nettostromerzeugung geliefert, also fast ein Fünftel der Energie, die tatsächlich aus der Steckdose kommt und von den Haushalten verbraucht wird. Fürs erste Halbjahr errechneten Prof. Bruno Burger und sein Team, dass alle regenerativen Energieformen zusammen auf einen Marktanteil von 48 Prozent kamen. Zum Vergleich: Im Vorjahr waren es gut 40 Prozent, vor zehn Jahren nur rund 18 Prozent.



»Intelligente« Hautcreme dank KI

Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher haben eine Möglichkeit entwickelt, Hautcreme in kleinstmengen direkt im Laden herzustellen. In Frankfurt a.M., Hamburg und Sindelfingen stehen die Minifabriken in der Größe eines Kleiderschranks schon in Filialen der Parfümerie-Kette Douglas. Bis Ende des Jahres sollen weitere folgen.

In nur sieben Minuten lässt sich die Tagespflege für Tiegelgrößen von 30 Millilitern mischen. Grundlage der individuellen Rezeptur sind vor Ort gemessene Werte, die den aktuellen Hautzustand anzeigen. Dabei werden unter anderem Elastizität,

Feuchtigkeits- und Fettgehalt bestimmt. Selbstlernende Algorithmen und eigens programmierte neuronale Netze werten die Messergebnisse aus und berechnen, welche Inhaltsstoffe in welcher Konzentration ideal sind für den aktuellen Hautzustand – je nach Jahreszeit, Stress- und Hormonpegel. Die für den Einsatz der Künstlichen Intelligenz erforderlichen Trainingsdaten haben Viktor Balzer und seine Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA aufbereitet. Eine Cloud-Lösung steuert das komplette cyberphysische Produktionssystem.



© Michael May

Kollisionstests mit Drohnen

Weltweit einzigartig für mehr Sicherheit im Flugverkehr.

Das Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI plant die Errichtung eines Teststands, auf dem Kollisionen von Drohnen mit Flugzeugen nachgestellt werden können. Während Luftfahrzeuge nur zugelassen werden, wenn sie Kollisionen mit Vögeln nachgewiesenermaßen standhalten, gibt es für Zusammenstöße mit Drohnen keine Vorschrift – dabei verursachen diese massivere Schäden.

Erste Aufpralltests bestätigten das enorme Gefährdungspotenzial. »Wir haben Batterien und Motoren eines handelsüblichen Quadropters mit einem Druckluftbeschleuniger auf unterschiedliche Geschwindigkeiten – zwischen 115 und 255 Meter pro Sekunde – gebracht und auf flache, bis zu acht Millimeter dicke Aluminiumplatten aufprallen lassen. Dabei wurden die Platten erheblich verformt und eingeebult, die Drohnenkomponenten vollständig zerstört«, erklärt Dr. Sebastian Schopferer, Wissenschaftler am Fraunhofer EMI.

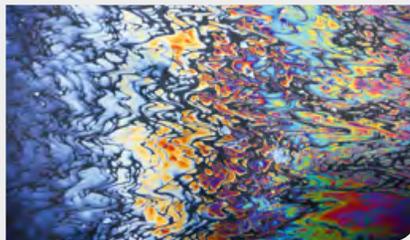
Der neuartige Teststand soll es ermöglichen, vollständige Drohnen bis zu einem Gewicht von drei Kilogramm auf Geschwindigkeiten von bis zu 150 Metern pro Sekunde zu beschleunigen. »Damit wollen wir ihr Verhalten beim Aufprall auf starre und flexible Ziele untersuchen. Versuche in dieser Drohnen-Gewichtsklasse sind bislang weltweit einzigartig.«

Mit Wasser läuft's wie geschmiert

Der bessere Dreh für Maschinenlager hilft, die Umwelt zu schützen – und verhindert auch noch Korrosion.

Forscherinnen und Forschern des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM ist es gelungen, Wasser mithilfe von Additiven so zu verändern, dass es als Schmierstoff eingesetzt werden kann. Das neue Gemisch schmiert nicht nur besser als herkömmliche Stoffe auf Mineralölbasis, es verhindert auch Korrosion. Und: Es ist wesentlich umweltfreundlicher.

Dr. Tobias Amann und sein Team am Fraunhofer IWM haben ihr neues Schmiermittel an einem Gleitlager ent-



Schön, schillernd und ganz schön schädlich: ein Ölfilm. Schmierung mit Wasser wird zur umwelt-schonenden Alternative. © Adobe Stock

wickelt. Ein solches Lager ähnelt einem Ring, der eine rotierende Welle aus Stahl umfasst. Dieser Ring besteht aus mehreren Schichten: einer Hülse, die das Lager umgibt, einer Schicht aus Aluminium und einer Schicht aus gesintertem Metall, die die Welle umfasst. Der Clou: Die gesinterte, innere Schicht ist von einem kleinen Kanal durchzogen, durch den das Wasser zwischen der rotierenden Welle und der Aluminiumschicht fließen kann. Zwischen dem unedlen Aluminium und dem edleren Stahl baut sich elektrische Spannung auf – ohne ein elektrisches Feld von außen anlegen zu müssen.

Diese Spannung nutzen die Forscherinnen und Forscher, um das Wasser in einen Schmierstoff zu verwandeln. »Wir mischen dem Wasser sogenannte ionische Flüssigkeiten zu«, erklärt Amann. Im elektrischen Feld richten sich die Ionen aus und lagern sich auf der Innenseite des gesinterten Metallrings ab – und zwar so, dass ihre Enden nach oben der rotierenden Welle entgegenragen. So bilden sie eine Art Schutzschicht, auf der die Welle gleiten kann. Gleichzeitig verhindert das elektrische Feld, dass der Stahl rostet. »Die Welle gleitet zudem leichter, wenn sie mit Wasser benetzt ist. Deshalb ist der Energieverbrauch im Betrieb geringer als beim deutlich viskoserem Öl.«

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, Mehmet Toprak, Monika Weiner, Britta Widmann.

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

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V., München
München 2019





Die Stromnetze in Deutschland werden immer komplexer – und damit anfälliger für Störungen. Künstliche Intelligenz kann helfen. © dpa

KI macht Stromnetze sicherer

Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher arbeiten daran, dass die Stromübertragung in Deutschland fit für die Zukunft wird.

Die steigende Nachfrage nach »Grünem Strom« hat Stromnetze komplexer werden lassen. Während die Energie früher nahezu ausschließlich von großen Kraftwerken eingespeist wurde, gibt es heute vermehrt dezentrale Stromquellen wie Windräder und Photovoltaikzellen. Damit wachsen die Herausforderungen an die Betreiber von Übertragungsnetzen: Laufen relevante Netzparameter wie Phase oder Winkel aus dem Ruder? Gibt es Abweichungen vom regulären Netzbetrieb? Sind Leitungen oder Kraftwerke ausgefallen? Um Antworten geben zu können, reicht die übliche Messtechnik nicht mehr aus. Spezielle Messsysteme schaffen Abhilfe. Sie erfassen die Amplitude von Strom und Spannung bis zu 50 Mal pro Sekunde. Die Datenmenge, die dabei entsteht, ist allerdings enorm – pro Tag kommen mehrere Gigabyte zusammen.

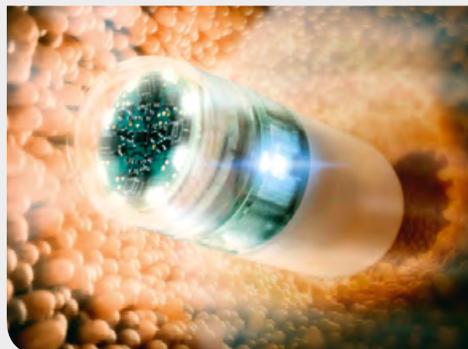
In einem ersten Schritt haben die Forscherinnen und Forscher des Institutsteils Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Ilmenau Komprimierungsverfahren entwickelt, mit denen 80 Prozent der Daten eingespart werden können. So lassen sie sich nicht nur leichter speichern, sondern auch schneller und effizienter auswerten. Danach haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neuronale Netze, die Basis der Künstlichen Intelligenz, mit Beispielen typischer Betriebsstörungen gefüttert. Damit lernten die Algorithmen, normale Betriebsdaten von Störungen zu unterscheiden und exakt zu kategorisieren.

Im Praxistest entschied der Algorithmus erfolgreich innerhalb von Millisekunden, ob eine Anomalie oder ein Fehler vorlag – und gab zusätzlich Auskunft über Ort und Art der Betriebsstörung. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten jetzt an der automatisierten Einleitung von Gegenmaßnahmen.

Bilder aus dem Inneren des Körpers

Die schnellere Diagnose von Krankheiten des Dünndarms ermöglicht eine neue Technik, die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher entwickelt haben. In der Medizin bewährt sind Kapselkameras, die der Patient wie eine Tablette schluckt. Mit ihnen lassen sich auch schwierige Areale erkunden wie der Dünndarm, der sich auf sechs Metern Länge durch den Bauchraum windet. Nachteil der Kapselkameras: Sie nehmen ihre Bilder fortlaufend auf, ganz unabhängig davon, ob sich das Kapsel-Endoskop bewegt hat. So entsteht eine Vielzahl identischer Fotos, die von Hand ausgefiltert werden müssen.

Anders die neue Kapselkamera, die ein Team am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in Berlin entwickelt hat. Ihre Kamera fotografiert nur dann, wenn sich die Kapsel bewegt hat. Erst wenn sich die Darmzotten verändern, erhält der Rechner der Kamera das Signal, ein Foto aufzunehmen. Damit reduziert sich die Menge der auszuwertenden Bilddaten auf weniger als die Hälfte.



Die Kamerapille des Fraunhofer IZM bringt Licht ins Dunkel. © Fraunhofer IZM/Volker Mei

80 %
weniger Daten.
Das bedeutet:
mehr Effizienz

Wie ein digitaler Zwilling Leben retten kann

Diagnose-Hypothesen, individualisierte Therapien:
Künstliche Intelligenz hat begonnen,
den Kampf gegen Krebs zu revolutionieren.

Text: Janine van Ackeren / Fotografie: Peter Granser

VORHANG AUF für KI

Die Krankheit gilt als die Seuche unserer Zeit. 18 Millionen Menschen werden in diesem Jahr neu an Krebs erkranken, allein in Deutschland erfasst die Statistik 500 000 Neuerkrankungen jährlich. Etwa 200 000 Deutsche

sterben an Krebs, Jahr für Jahr. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) der Weltgesundheitsorganisation WHO hat errechnet: Jede vierte Diagnose und jeder fünfte tumorbedingte Todesfall betrifft eine Europäerin oder einen Europäer.

Künstliche Intelligenz gilt als die Hoffnung unserer Zeit. Zwar macht KI manchem Angst. Doch wird gerade in der Medizin

die KI dem Menschen immer deutlicher zur Seite stehen. Künstliche Intelligenz in der Heilkunst ist nicht Science-Fiction. Aus seiner Erfahrung befindet Prof. Jörn Kohlhammer, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, sehr konkret: »KI kann Mediziner gewinnbringend unterstützen, indem sie die Krankheitsverläufe einer großen Patientenzahl miteinander vergleicht und dem Arzt oder der Ärztin Vorschläge macht für die bestmögliche individuelle Therapie.«

Deutschland hat dieses Jahr die »Nationale Dekade gegen Krebs« ausgerufen. Bundesforschungsministerin Anja Karliczek beim Start: »Forschung ist das wichtigste Instrument gegen den Krebs.« Im Mai ergänzte die Ministerin: »Wir bündeln in der Nationalen Dekade gegen Krebs in den nächsten zehn Jahren alle Kräfte.« ▶

Menschen
weltweit
erkranken
im Jahr
an Krebs.

18 100 100

Schätzung der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) für das Jahr 2018

KI

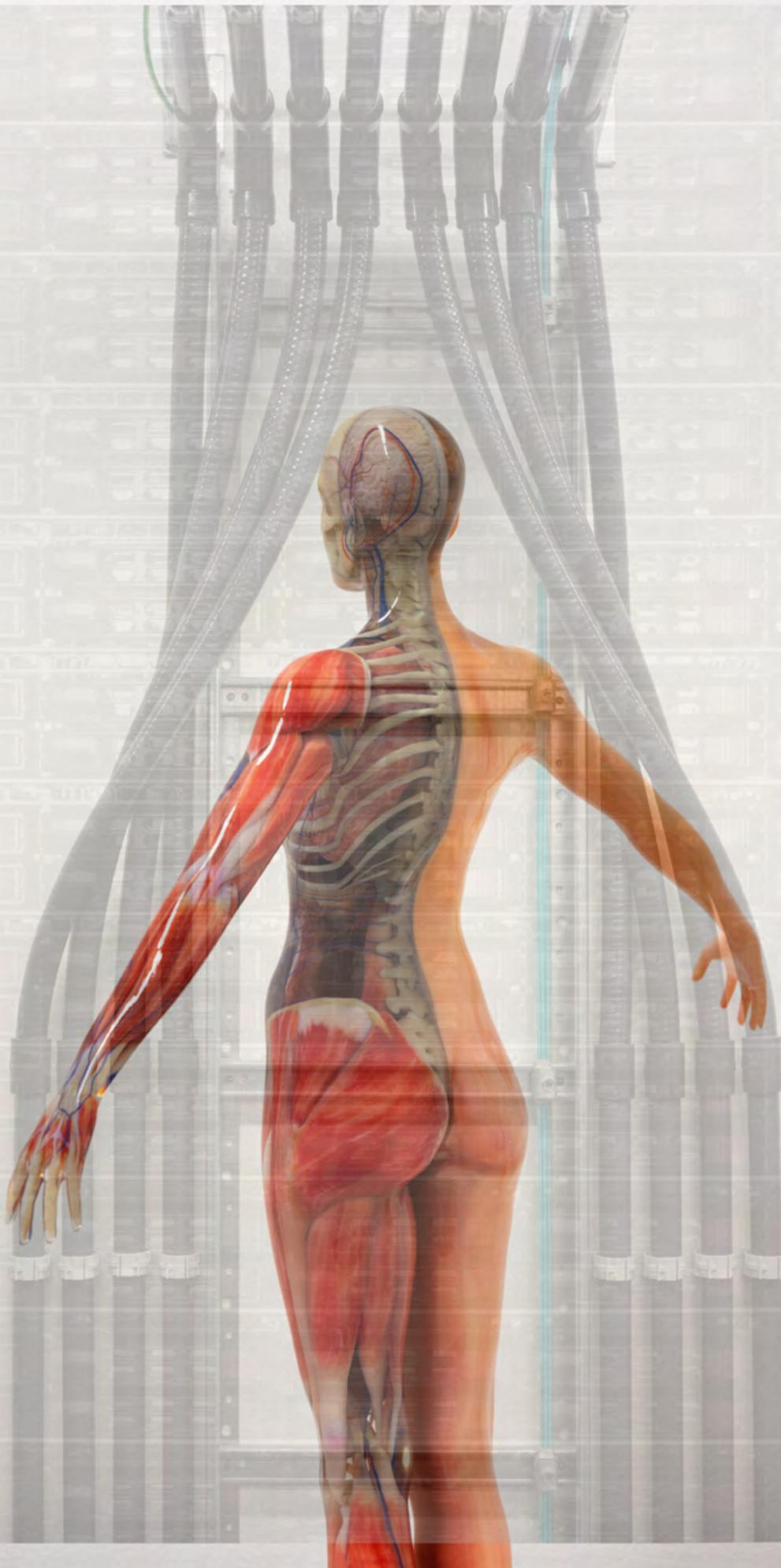
Neue Möglichkeiten brauchen neue Regeln, um Vertrauen zu schaffen. Für eine Zertifizierung des vertrauenswürdigen Einsatzes Künstlicher Intelligenz haben die Universitäten Köln und Bonn unter Federführung des Fraunhofer IAIS und mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) als Partner sieben Handlungsfelder identifiziert. Der Ansatz war interdisziplinär. Das Zertifizierungsprojekt geht an einigen Stellen über die Grundsätze der EU-Kommission hinaus.

#1

Ethik und Recht

Respektiert die KI-Anwendung gesellschaftliche Werte und Gesetze?

Vorhang auf für KI. Transluzenter 3D-Druck des Fraunhofer IGD in Darmstadt mit überlagerten Kabeln.



Jeder 5 ■ Mann und jede 6 ■ Frau erhalten im Lauf des Lebens die Diagnose Krebs.

► Fraunhofer hat seine Kräfte schon gebündelt. Im Leitprojekt MED²ICIN wollen Forscherinnen und Forscher von sieben Fraunhofer-Instituten unter der Federführung des Fraunhofer IGD vorhersagen, welche Behandlung bei welcher Patientin oder bei welchem Patienten wie gut anschlägt. Denn: Während eine Person sehr gut auf eine Behandlung anspricht, läuft sie bei einer anderen ins Leere. Dies bedeutet zum einen eine körperliche wie seelische Belastung für den Behandelten, zum anderen unnötige Kosten für die Krankenkassen.

»Für diese Vorhersage nutzen wir ein digitales Patientenmodell«, erläutert Dr. Stefan Wesarg, Abteilungsleiter am Fraunhofer IGD. »Das fasst alle vorliegenden Daten zur Patientin oder zum Patienten zusammen – aus Untersuchungen und zu Vorerkrankungen ebenso wie Angaben zum Lebenswandel, etwa ob die Patientin oder der Patient raucht. Auch die entstehenden Kosten und gesundheitsökonomische Daten fließen mit ein.« Das Fraunhofer-Team will im Rahmen des Projektes also einen »digitalen Zwilling« der Patientin oder des Patienten erstellen.

Was die behandelnden Ärztinnen und Ärzte interessiert: Gibt es ähnliche Therapiefälle? Und was kann man aus ihnen für die Behandlung der aktuellen Patientin oder des aktuellen Patienten lernen? Dazu fasst man Gruppen von Personen mit ähnlichen Krankheitsbildern und -verläufen zu Kohorten zusammen.

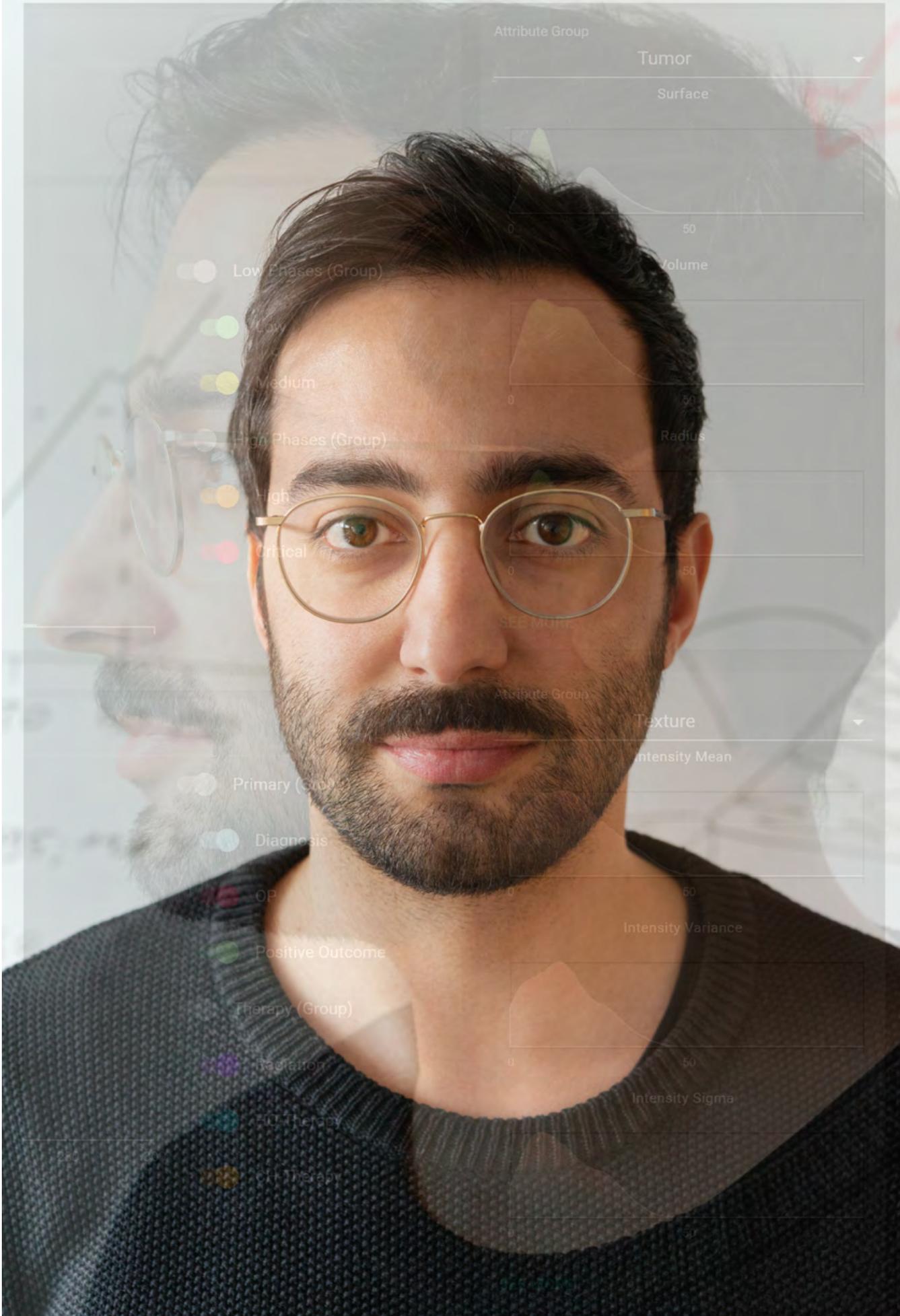
Diese Kohorten auf signifikante Gemeinsamkeiten oder Unterschiede zu durchsuchen, ist allerdings extrem zeitaufwendig und damit bisher nicht praxistauglich. Und eben hier kommt die Künstliche Intelligenz ins Spiel: Sie durchforstet die Datenmengen nach wichtigen Übereinstimmungen, visualisiert sie und ermittelt, welche Behandlungen für die spezielle Patientin oder den Patienten vielversprechend sind. »Ärztinnen und Ärzte können auf diese Weise auch solche

Betroffene in ihre Vergleiche mit einbeziehen, die sie persönlich nie kennenlernen würden – etwa, weil einige Krankheiten nur sehr selten auftreten«, ergänzt Kohlhammer. Auf lange Sicht gesehen könnte das Tool dabei helfen, vorauszusagen, mit welcher Behandlungsform sich die individuelle Erkrankung einer Patientin oder eines Patienten am besten therapieren lässt.

Die Ergebnisse könnten, wenn es nach den Forschenden geht, dann auch in die Leitlinien einfließen: Diese geben die Diagnoseverfahren und Therapiemöglichkeiten für verschiedene Indikationen vor – also etwa welche Chemotherapie bei Darmkrebs angewandt werden soll oder ob und wie diese mit Bestrahlung und Operation kombiniert wird. »Wir wollen und müssen an den Leitlinien ansetzen«, sagt Kohlhammer, »denn diese geben die Empfehlungen. Wenn wir das Expertenwissen der Ärztinnen und Ärzte mit den Daten aus unserem System untermauern, kann man die Leitlinien entsprechend optimieren und die individuellere Behandlung stärken.« Für die Patientinnen und Patienten heiße das: Sie würden nicht mehr wie bisher nach den allgemeinen Vorgaben behandelt, sondern mit der Behandlungsmethode, die für sie ganz individuell die besten Chancen verspricht.

Künstliche Intelligenz als »Text-Grubenarbeiter«

Darmkrebs wird nach wie vor maßgeblich nach diesen Leitlinien behandelt. Bei einigen Patientinnen und Patienten breiten sich jedoch immer wieder erneut Tumoren im Körper aus – speziell in diesen Fällen können alternative Behandlungswege, die bisher nicht in den Leitlinien umgesetzt sind, von Interesse sein. Für die behandelnden Ärztinnen und Ärzte bedeutet das, gegebenenfalls wissenschaftliche Publikationen über klinische Studien zu durchforsten und nach zielführenderen Therapien zu suchen. ►



#2

Autonomie und Kontrolle

Ist eine selbstbestimmte, effektive Nutzung der KI möglich?

Ivan Iovine, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Geoinformationsmanagement, Fraunhofer IGD.

► Ein aufwendiges Unterfangen – und eine weitere Anwendung, wo Künstliche Intelligenz gezielt unterstützen kann. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt Electronic Patient Path EPP arbeitet Jil Sander, Geschäftsfeldleiterin am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse und Informationssysteme IAIS, mit an einer entsprechenden Text-Mining-Lösung: »Die KI durchsucht öffentliche Zusammenfassungen medizinischer Publikationen nach Therapien, deren Wirksamkeit für Patientengruppen anhand bestimmter Biomarker abgeschätzt werden kann. Die entsprechenden Veröffentlichungen werden dann dem Arzt oder der Ärztin als Lesematerial für mögliche Therapien bei Darmkrebs vorgeschlagen.« Ein Biomarker kann dabei zum Beispiel ein Gen sein, das in den Tumorzellen mancher, aber nicht aller Patientinnen und Patienten mutiert ist. Nun kann es sein, dass eine Chemotherapie etwa bei der Gruppe mit dem mutierten Gen gute Erfolge erzielt, bei der zweiten Gruppe jedoch kaum Wirkung zeigt. Ärztinnen und Ärzte können auf diese Weise bestimmte Patientengruppen bilden und nach Behandlungsmöglichkeiten suchen, die speziell für diese Gruppe optimal sind.

Das Programm sucht jedoch nicht nur nach Schlagworten – das wäre mit einem einfachen Such-Algorithmus zu leisten –, sondern lernt, bestimmte Begriffsklassen, sogenannte Entitäten, und deren Verknüpfungen, sogenannte Relationen, über den Kontext zu identifizieren. Dies ermöglicht es zum Beispiel, zu erkennen, ob eine bestimmte Therapie auch wirklich bei einem Krankheitsbild angewendet wurde – im Vergleich zu einer simplen Aufzählung von Therapien und Krankheitsbildern innerhalb eines Textes. Auch gänzlich neue Entitäten, etwa neuartige Behandlungsmöglichkeiten, die bis dato noch in keiner Datenbank hinterlegt und daher auch noch nicht verschlagwortet sind, kann das System erkennen. Das Projekt umfasst allerdings nicht nur die Text-Mining-

Lösungen. Ziel ist es, mit dem Electronic Patient Path (EPP) ein Gesamtsystem für die Therapieführung bei Darmkrebs jenseits der Leitlinien zu entwickeln. Darum arbeiten hier die wissenschaftlichen Partner Ruhr-Universität Bochum, Universität Bonn, Hochschule Hamm-Lippstadt und Fraunhofer IAIS mit den klinischen Partnern Universität zu Lübeck und Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Campus Lübeck zusammen. Langfristig soll das Programm Ärztinnen und Ärzten unter anderem helfen, neue Studien zielgerichteter herauszupicken und die Behandlungserfolge bei Krebserkrankungen nach oben zu treiben – beispielsweise, indem die EPP-Methodik bei dem Leitprojekt MED²ICIN sowohl für Darmkrebs als auch übertragen auf andere Krankheitsbilder fortlaufend weiterentwickelt wird. Aber auch hier gilt: Die Künstliche Intelligenz hinter dem Gesamtsystem soll Ärztin oder Arzt unterstützen, nicht ersetzen.

Besondere Herausforderung: der Kopf-Hals-Bereich

Hat sich im Kopf-Hals-Bereich ein Tumor gebildet, stehen Ärztinnen und Ärzte vor besonderen Herausforderungen. Da hier zahlreiche verschiedene Strukturen auf relativ engem Raum beisammen liegen, ist die Bestrahlung oder andere Behandlung eines solchen Tumors besonders herausfordernd. Schließlich sollen die hochenergetischen Strahlen zwar den Tumor zerstören, jedoch die in nächster Nähe liegenden empfindlichen Organe möglichst wenig schädigen. Ein KI-System, das die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IGD bereits vor einigen Jahren entwickelt haben, erkennt anatomische Strukturen wie Rückenmark, Blutgefäß, Kehlkopf und Co. in computertomographischen Bilddaten vollständig und stellt die Ergebnisse anschaulich dar. Wofür ein Mensch mehrere Stunden benötigt, das schafft die KI in nur vier Minuten. ►

Jeder **8** ■ Mann und jede **11** ■ Frau sterben an Krebs.

#3

Fairness
Behandelt
die KI alle
Betroffenen
fair?



Augmented Reality im
OP. Durch die VR-Brille
sieht die Ärztin oder
der Arzt die exakte
Lage des Lymphknoten.
Medizinisches Modell
des Fraunhofer IGD.

Um plus

4 000 000

pro Jahr steigt die Zahl neuer Krebsdiagnosen weltweit, schätzt die IARC.

► Neu ist: Die Künstliche Intelligenz kann nun auch den Tumor automatisch erkennen. »Unser Softwaretool lokalisiert und markiert den Tumor in den computertomographischen Aufnahmen, stellt ihn dreidimensional dar und analysiert die entsprechenden Bilddaten«, erklärt Wesarg. Das System basiert auf neuronalen Netzen, trainiert wurde es mit Daten, in denen der Tumor manuell markiert wurde. Aus diesen erstellte sich das System ein entsprechendes Muster. Dazu kommen weitere Informationen aus dem Kopf-Hals-Atlas, etwa: Hier liegt der vollkommen gesund aussehende Kehlkopf, das System braucht dort also nicht nach dem Tumor zu suchen. Die Ergebnisse des Kopf-Hals-Atlases dienen somit als Vorauswahl.

Wie ist die Helligkeitsverteilung innerhalb des Tumors? Gibt es etwas, das einem Menschen nicht augenfällig ist? Diese Fragen beantwortet das Tool über verschiedene beschreibende Parameter: Insgesamt lassen sich über hundert Parameter dieser Art per Software aus den Aufnahmen eines Kopf-Hals-Tumors herausziehen.

Schneller, kostengünstiger und schonender als eine Biopsie

Erste Ergebnisse zeigen: Die CT-Bilder können auf diese Weise sogar Informationen liefern, die man sonst nur über einen operativen Eingriff und eine anschließende Laboruntersuchung des entnommenen Tumorgewebes gewinnen könnte. »So ist beispielsweise denkbar, einen Zusammenhang zu finden zwischen dem Intensitätsmuster innerhalb der Tumoregion und einer Zellauffälligkeit, die im Labor festgestellt wurde. Hat man genügend Patientinnen und Patienten, so könnte man – statistisch gesichert – eines Tages aus der Erscheinung des Tumors in den Bilddaten auf krankhafte Zellveränderungen schließen.« Aussagen über Gewebemerkmale lassen sich zukünftig also – so die Hypothese – mithilfe von Künstlicher Intelligenz treffen, eine reale Biopsie wäre dann

nicht mehr notwendig. Dies schont zum einen die Patientinnen und Patienten, zum anderen das Budget der Krankenkassen. Zudem liegen die Ergebnisse deutlich schneller vor als dies bei einer Biopsie und der anschließenden Laboruntersuchung des entnommenen Gewebes der Fall wäre.

Teile der Technologie werden in ersten Testläufen bereits eingesetzt: in der HNO-Klinik des Universitätsklinikums Düsseldorf. Die Ärztinnen und Ärzte dort nutzen die Technologie, um Patientendaten rückblickend zu analysieren und die Aufteilung in die Kohorten zu überprüfen. Die Frage, die dieser Test in den nächsten Monaten beantworten soll: Wie korrelieren die KI-Ergebnisse mit dem Erfahrungswissen? Ein erster Schritt hin zur individuellen Behandlung ist somit getan.

Langfristig soll die medizinische Versorgung tatsächlich personalisiert, also für jeden Patienten diejenige Therapie mit der höchsten Erfolgswahrscheinlichkeit identifiziert werden. Um dies zu erreichen, ließen sich die für den Kopf-Hals-Bereich entwickelten Algorithmen auch auf andere Krebsarten ausweiten. Dazu braucht der Algorithmus jedoch entsprechende Informationen, welche Strukturen es in den Bilddaten zu erkennen gilt – schließlich hat ein Tumor im Kopf-Nackengebiet andere Merkmale als ein Lungentumor. ►



#4

Transparenz
Sind Funktionsweise und Entscheidungen der KI nachvollziehbar?

Veneta Ivanova, wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Geoinformationsmanagement des Fraunhofer IGD

Die Fotografien

zum Thema KI hat Peter Granser für das Fraunhofer-Magazin geschaffen. Der Autodidakt hat bislang zehn Fotobücher veröffentlicht. Gransers Werke wurden international in zahlreichen Ausstellungen gezeigt.

**Drei Fragen an den Fotografen****1 Alle machen heute Bilder. Warum also noch Fotografien schaffen?**

Weil eine durchdachte Fotografie viel mehr sein kann als ein Bild, das man mal eben mit dem Smartphone aufnimmt. Bei der Bilderflut, der wir heute ausgesetzt sind, müssen wir aufpassen, dass wir nicht verlernen, künstlerische Fotografie zu betrachten.

2 Was macht den Reiz der für Fraunhofer geschaffenen Überlagerungen aus?

KI ist nicht direkt sichtbar. Ich musste eine Form finden, Bereiche, in denen KI zum Einsatz kommt, sichtbar zu machen. Dabei war es mir wichtig, Bildkompositionen zu schaffen, die das Thema transportieren und zum Hinschauen verleiten.

3 KI: Grund zur Angst oder Freude?

Würden die ethischen Grundsätze weltweit verinnerlicht und respektiert werden, würde die Neugierde bei mir in Freude übergehen. Leider lehrt uns die Geschichte oft das Gegenteil.

► Mit der MedCom GmbH aus Darmstadt, einer Ausgründung des Fraunhofer IGD, wollen die Forscherinnen und Forscher zudem noch etwas früher ansetzen. Und zwar bei der Erstdiagnose: Im BMBF-Projekt ECHOMICS analysieren sie mithilfe der Künstlichen Intelligenz in Ultraschall-Aufnahmen die Lymphknoten analog zur »Biopsie-Technologie«. Denn: Sind die Lymphknoten dauerhaft vergrößert, kann dies auf einen Tumor im Körper hinweisen. Auf diese Weise könnten Ärztinnen und Ärzte Tumoren bereits deutlich früher erkennen als bisher und somit schneller und erfolgsversprechender behandeln.

Komplikationen nach Knochenmarkstransplantationen vorhersagen

Wenn eine Strahlen- oder chemotherapeutische Behandlung von Leukämien oder Lymphomen keinen ausreichenden Erfolg bringt, besteht meist nur eine einzige Chance auf Heilung: Die Transplantation von Knochenmark- oder Blutstammzellen. Doch auch hier sind die Aussichten auf Erfolg begrenzt, viele Patienten sterben trotz Transplantation. Der Grund: Vor der Transplantation werden alle Blutstammzellen getötet – und damit auch die weißen Blutkörperchen, die das Immunsystem ausmachen. Durch die Transplantation »erbt« der Patient stattdessen das Immunsystem des Spenders. Dieses kann sich jedoch gegen den Patienten richten. Auch ist es möglich, dass das neue Immunsystem im Patientenkörper schlummernde Krankheitserreger nicht kennt und Infektionskrankheiten mit einem schweren Verlauf ausbrechen.

Ob das neue Immunsystem solcherlei Probleme hervorruft, wollen die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik IBMT zusammen mit ihren

Partnern von der Universität des Saarlandes, der Universität Tübingen, dem Universitätsklinikum Essen und der Firma Averbis nun im Projekt »XplOit« mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz vorhersagen. War die Transplantation erfolgreich? Kommt es zu gefährlichen Virusinfektionen oder Reaktionen des neuen Immunsystems gegen den eigenen Körper? Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Patient überlebt? Mit welcher Wahrscheinlichkeit breitet sich der Krebs erneut in seinem Körper aus? »Mit unserer »XplOit«-Plattform können lebensbedrohliche Komplikationen schneller erkannt und frühzeitiger als heute behandelt werden«, sagt Projektkoordinator Stephan Kiefer vom Fraunhofer IBMT.

Um den Vorhersageverfahren beizubringen, worauf es zu achten gilt, haben die Wissenschaftler sie mit repräsentativen klinischen Daten der beteiligten Stammzelltransplantationszentren aus Essen und dem Saarland trainiert. Mit den so trainierten Vorhersagetools gehen die Forscher seit März 2019 in die klinische Validierung. Das heißt: Ein Jahr lang speisen sie die Daten der aktuell behandelten Patienten ein, vergleichen die Vorhersagen mit den Einschätzungen der Ärzte und dem tatsächlichen Verlauf und bewerten und verbessern die Vorhersagemodelle auf diese Weise. »Wir sind sicher, dass die Modelle den Medizinern belastbare Hinweise auf wahrscheinliche Komplikationen geben können«, fasst Kiefer die bisherigen Ergebnisse zusammen. Und dann – so die Hoffnung der Forscher – könnten deutlich mehr Menschen eine solche Transplantation überleben. ►

9 600 000

Menschen weltweit sterben pro Jahr an Krebs.

Schätzung der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) für 2018

#5

Verlässlichkeit

Funktioniert die KI zuverlässig und ist sie robust?



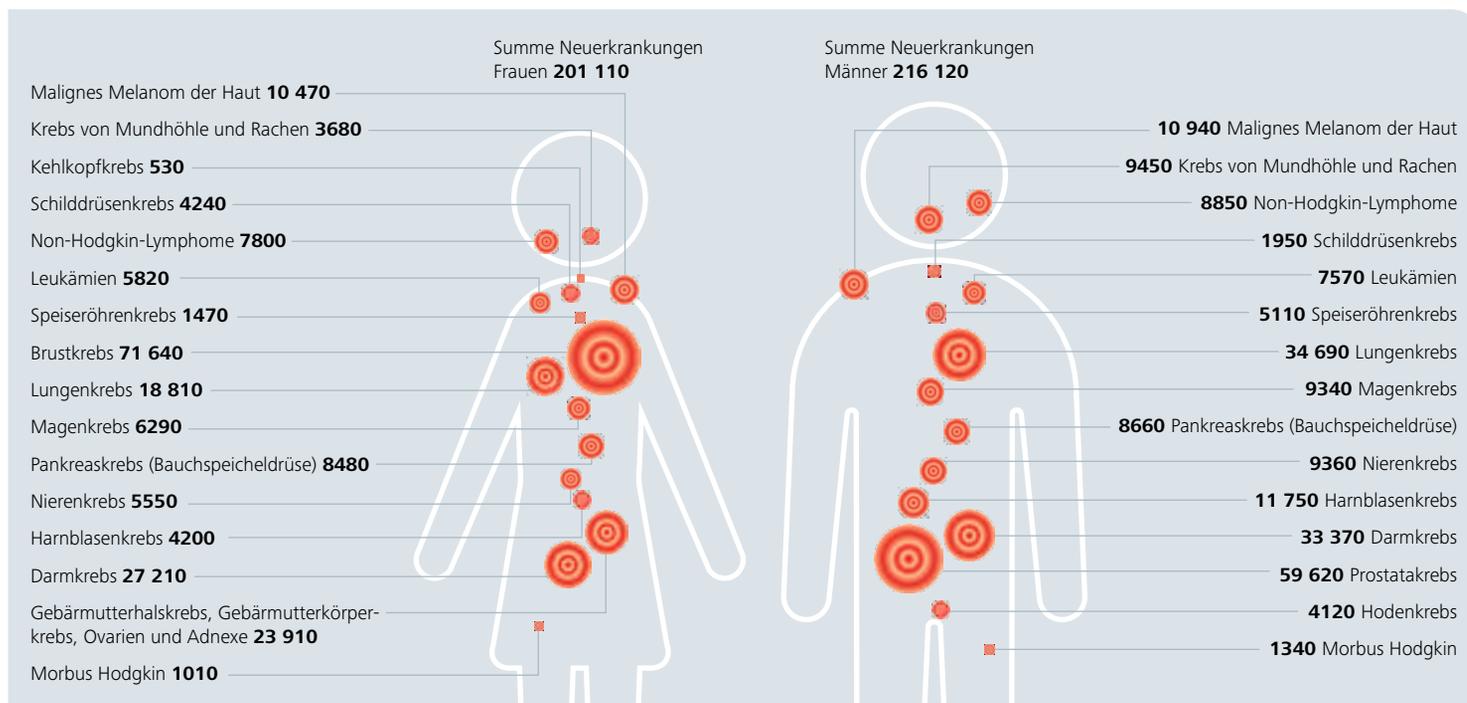
Matthias Noll, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Visual Healthcare Technologies des Fraunhofer IGD

Europa stellt nur **9%**
der Weltbevölkerung, aber

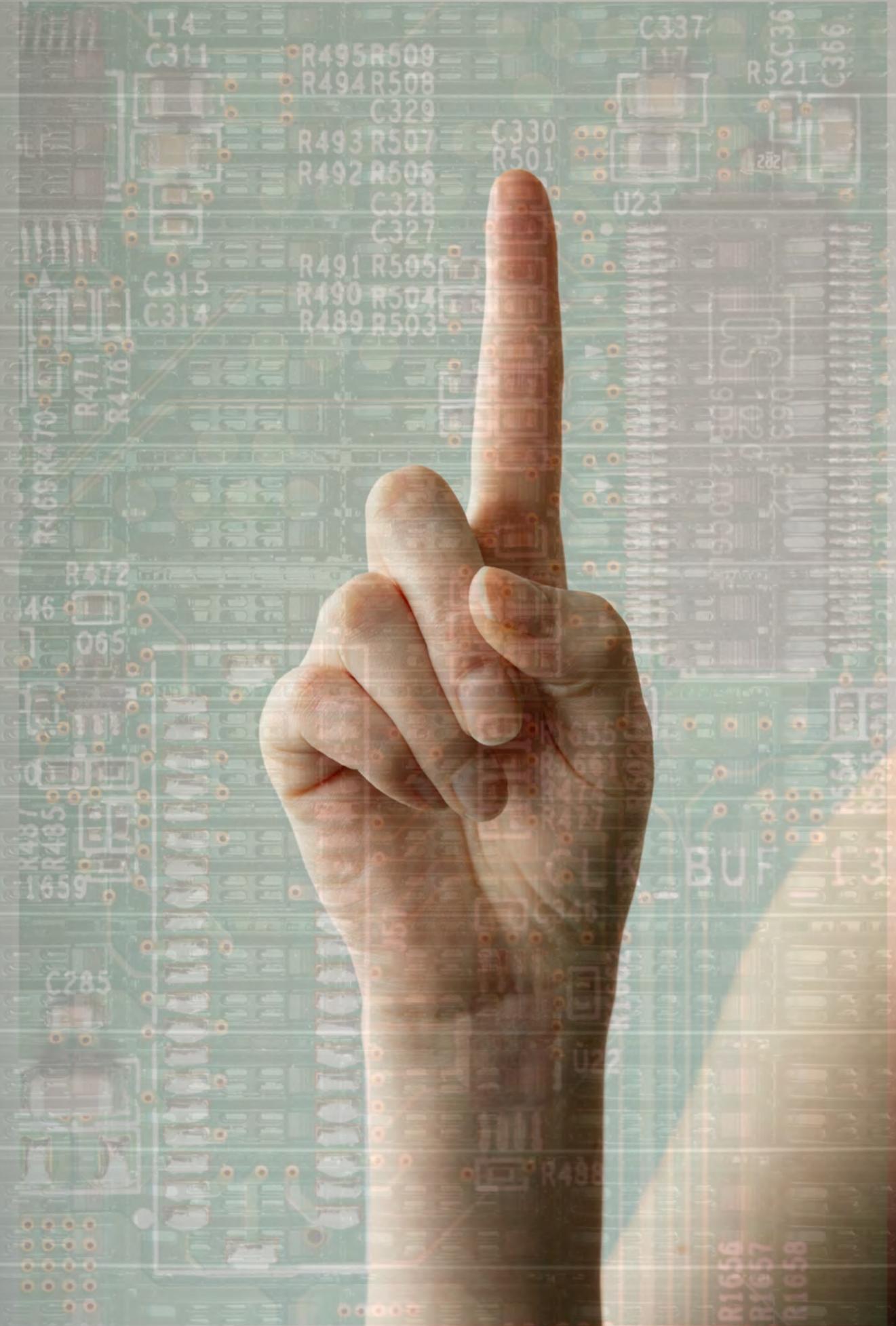
23% der
Krebsdiagnosen weltweit.

► Einer der Dreh- und Angelpunkte in der Behandlung von Krebs – wenn nicht gar der Dreh- und Angelpunkt schlechthin – ist die frühzeitige Erkennung von Tumoren. Hier könnte die Optische Kohärenztomographie, kurz OCT, einen großen Beitrag leisten. Schließlich ist ihre Auflösung zehn- bis hundertmal besser als die des Ultraschalls. Ihr Manko: Im klinischen Alltag vieler medizinischer Disziplinen fehlt noch das entsprechende Know-how. Das wollen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und der Tokyo Women's Medical University nun in der Forschungsallianz OCTmapp ändern. »Künstliche Intelligenz soll die Ärzte bei der Auswertung unterstützen. Zudem soll die KI dabei helfen, die Signalentstehung besser zu verstehen – insbesondere die Bildung von Artefakten«, sagt Niels König, Abteilungsleiter am Fraunhofer IPT. Im Juni bringen die For-

scherinnen und Forscher des Fraunhofer IPT zwei OCT-Systeme nach Japan, wo die Technologie in präklinischen Studien zu unterschiedlichen Anwendungen getestet wird. Die OCT bietet sich für zahlreiche klinische Disziplinen als Navigations- und Befundungshilfe für eine präzise und zielgerichtete Biopsie an. Auch hier kann die KI den Arzt unterstützen. Schon in etwa fünf Jahren, so vermutet der Aachener Forscher, könnte die Technologie in klinischen Patientenstudien validiert werden. Parallel arbeiten die Partner daran, OCT in den intelligenten Operationssaal »HyperSCOT« an der TWMU zu integrieren, damit die Technologie im Kontext der computergestützten und vernetzten Chirurgie einsetzen lässt. Und langfristig gesehen dabei helfen kann, Krebs frühzeitiger zu diagnostizieren und die Zahl der krebsbedingten Todesfälle zu reduzieren. ■



Zahl der jährlichen Krebs-Neuerkrankungen in Deutschland bei Frauen und Männern
Quelle: Zentrum für Krebsregisterdaten am Robert Koch-Institut, Jahr 2013



#6

Sicherheit
Ist die KI
sicher
gegenüber
Angriffen,
Unfällen
und Fehlern?

»Es gibt fast schon wöchentlich Fortschritte«

Wird Künstliche Intelligenz den menschlichen Verstand verdrängen? Gegen die Masse der Mythen stellt sich Prof. Stefan Wrobel vom Fraunhofer IAIS.

Interview: Janine van Ackeren



Prof. Stefan Wrobel leitet das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS und ist Sprecher der »Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz«. Die Gesellschaft für Informatik hat Stefan Wrobel gerade zu einem der zehn »prägenden Köpfe der deutschen KI-Geschichte« gekürt.
© Intuitive Fotografie Köln

Alle reden von KI, was steckt tatsächlich hinter »Künstlicher Intelligenz«?

Wir Menschen sehen und hören, wir machen Pläne und wir passen sie an Veränderungen an. KI ist, wenn wir solche kognitiven Leistungen auf Maschinen oder Rechnern nachbauen. Allerdings wissen wir bis heute nicht bis ins Detail, wie unser Gehirn derlei Dinge eigentlich leistet. Aber wir können uns mathematische Verfahren überlegen, die in Teilbereichen ähnliche Leistungen erbringen. Mit Algorithmen analysiert die Maschine Beispieldaten, leitet daraus Modelle ab und verbessert ihr Verhalten Schritt für Schritt.

So weit die Realität. Wo beginnt der Mythos?

Die Quelle vieler Ängste ist eine Annahme: Künstliche Intelligenz denke wie ein Mensch. Wir sehen, wie KI den Menschen beim Schach- oder Go-Spiel besiegt, wie sie menschliche Sprache vom Deutschen ins Italienische übersetzt oder für den Menschen den Anruf beim Friseur übernimmt und einen Termin vereinbart. Und daraus schließen wir: Wenn KI das kann, dann kann sie auch alles andere, was wir Menschen können. Genau das ist jedoch noch nicht der Fall. Der Künstlichen Intelligenz fehlt zurzeit noch das Gesamtverständnis von bestimmten Vorgängen, wie wir Menschen es haben.

Was kann KI?

Es ist definitiv kein Mythos, dass KI den Menschen in bestimmten Bereichen ersetzen kann. Ist eine Aufgabe klar umrissen und abgegrenzt und liegen genügend Daten oder menschliches Wissen vor, kann die Künstliche Intelligenz

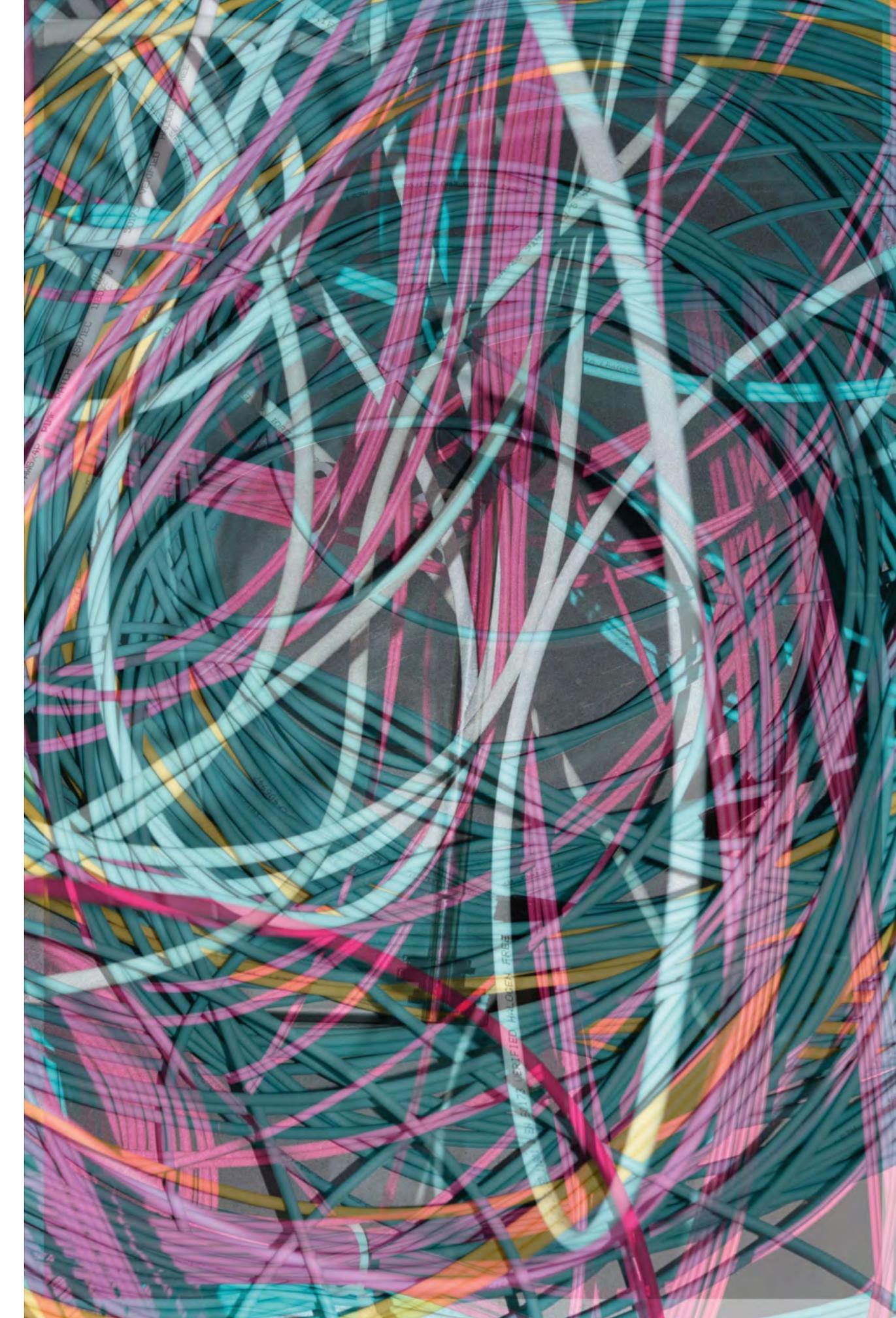
Leistungen erbringen, die sich auf dem Niveau menschlicher Expertinnen und Experten bewegen. Oder sie kann sogar darüber hinausgehen.

Und was kann KI nicht?

Systeme der Künstlichen Intelligenz werden jeweils für eine bestimmte Aufgabe entwickelt. Aktuell ist es nicht möglich, diese automatisch auf andere Aufgaben auszudehnen. Ist ein System darauf trainiert, Sätze vom Deutschen ins Italienische zu übersetzen, dann kann es nicht automatisch auch Schach spielen. Eine weitere grundsätzliche Frage liegt im Bereich der Selbstreflexion: Künstliche Intelligenz kann noch nicht erkennen, was sie nicht kann. Soll ein KI-System zur Diagnose von Fräsmaschinen plötzlich eine Stanzmaschine analysieren, so wird sich die KI nicht wehren – allerdings wird sie auch keine sinnvollen Ergebnisse liefern.

Wann wird KI diese Grenzen überwunden haben?

Alle wüssten gerne, wann welche Zukunft eintritt. Vieles im Bereich der KI ging schneller, als wir es selbst für möglich hielten. Anderes dagegen dauert länger. Was man sagen kann: Es gibt monatlich, ja fast schon wöchentlich Fortschritte; die KI-Systeme des nächsten Jahres werden nicht mehr den heutigen entsprechen. Wann aber die Künstliche Intelligenz so weit ist, Weltwissen und Zusammenhänge wie wir nutzen zu können, lässt sich nicht seriös prognostizieren. Es kann zehn, zwanzig oder mehr Jahre dauern, bis KI sich allgemein so flexibel wie ein Mensch verhält. Wichtig ist: Wir dürfen nicht beim Nachdenken über zukünftige Möglichkeiten der KI hängen bleiben, sondern sollten bereits jetzt ihre Möglichkeiten nutzen. Nur indem wir KI heute schon einsetzen, können wir wettbewerbsfähig bleiben! ■



#7

Datenschutz
Schützt
die KI die
Privatsphäre
und sonstige
sensible
Informatio-
nen?

Datensicherheit
Serverkabel, darunter
pinkfarben die Glas-
faserkabel – mit integ-
riertem Tresor-Schlüssel
des Serverraums des
Fraunhofer IGD.

»Wir sind eine nette Gesellschaft«

Fake oder News? Warum wir so anfällig sind für Manipulation – und wie Demokratie sich schützen muss: ein Gespräch mit Prof. Ulrich Schade, Fraunhofer FKIE.

Interview: Josef Seitz



»KI wird nicht die Weltherrschaft übernehmen«, ist Prof. Ulrich Schade überzeugt. »Zumindest nicht«, schränkt er ein, »solange wir leben.« Seit 2002 leitet Schade die Forschungsgruppe »Informationsanalyse« am Fraunhofer FKIE in Wachtberg bei Bonn. © Fraunhofer FKIE / Petra Kaiser

Lüge oder Wahrheit, Herr Professor Schade, was ist schneller?

Die Lüge ist durch moderne Technik nahezu beliebig schnell geworden. Da hinkt der Faktencheck durch den Menschen hoffnungslos hinterher. Unser Tool führt keinen Faktencheck durch, weist aber auf News hin, die Fake News sein könnten (s. Chart rechts), und das in Echtzeit. Manchmal genügt es auch schon, herauszufinden, woher eine Nachricht kommt, um sie mit Vorsicht zu betrachten.

Sie fasziniert das Verhältnis von Mensch und Künstlicher Intelligenz?

Ein Teil der Intelligenz dieser Systeme liegt gar nicht in den Systemen selbst. Sie liegt in den Köpfen von uns Menschen. Es sind doch wir, die sich an die Programme adaptieren. Nehmen wir allein die Sprachassistenten Alexa und Siri. Nach einer gewissen Zeit sind wir es, die gelernt haben, wie wir mit denen kommunizieren müssen, um die Antworten zu bekommen, die wir suchen. Um dem Nutzer stärker bewusst zu machen, wie dumm diese Systeme eigentlich sind, muss man nachsehen, unter welchen Randbedingungen sie nicht funktionieren. Es ist die Suche nach diesen Grenzen der maschinellen Verfahren, die mich fasziniert.

Bleiben wir bei der Suche nach den Grenzen des Menschen. Hat sich die Macht in digitalen Zeiten verschoben?

Wir sind eine nette Gesellschaft. Wir gehen vom Guten aus. Das macht uns im Vergleich zu autoritären Staaten ganz eindeutig manipulierbarer. Auf die Gefahr müssen wir reagieren.

Sind Demokratien bedroht durch Manipulationen?

Zumindest sollten wir gewarnt sein. Ich habe kürzlich ein interessantes Gedankenexperiment in »Politik und Geschichte« gelesen: Unser Grundgesetz, dessen 70. Geburtstag wir ja gerade feiern, ist nur mit Zweidrittelmehrheit zu ändern. Das ist ein guter Schutz. Unsere Verfassungsrichter kann man

ebenso nur mit Zweidrittelmehrheit berufen. Auch das ist ein guter Schutz. Zu sicher sollten wir uns dadurch nicht fühlen. Denn das Gesetz, dass man einen Verfassungsrichter nur mit zwei Dritteln Mehrheit ernennen darf, das kann schon sehr viel leichter mit einer einfachen Mehrheit geändert werden. So ein Einfallstor vor Manipulatoren zu schließen, ist eine relativ schlichte Sache mit großer Wirkung, um unseren Rechtsstaat besser zu verteidigen.

Sind Sie also pessimistisch, wenn Sie an die Zukunft denken?

Zumindest nicht wegen Künstlicher Intelligenz. Die Maschine ist immer gut für ihr Spezialgebiet, schon unmittelbar daneben ist ihr Können am Ende. Ein Programm spielt entweder Schach. Oder es spielt das Brettspiel Go. Ein Mensch kann beides lernen – und dann würde er die Ideen und Strategien von dem einen Spiel auf das andere übertragen. Das kann die Maschine nicht. KI wird nicht die Weltherrschaft übernehmen, zumindest nicht, solange wir leben. Da bin ich zuversichtlich.

Die Maschine kann das eine perfekt. Menschen können sehr viel ziemlich gut. Das klingt tröstlich. Wie unterscheidet sich das Denken des Menschen vom Vorgehen der Künstlichen Intelligenz?

Bleiben wir beim Schach. Der Mensch hat die Möglichkeit, an sein Ziel zu denken – er rechnet vom Ziel zurück, mit welchen Schritten er gewinnen kann. Der Computer denkt nicht ans Ziel, er berechnet mögliche Folgen nach vorne – schnell, aber ohne Fantasie*.

Stellen Sie beim Menschen eine Bereitschaft fest, sein Denken an die Maschine abzugeben?

Bequemlichkeit ist immer eine Gefahr. Wir müssen Kinder, Jugendliche und – ja! – auch uns Erwachsene wieder zum Selberdenken anregen. Und wir brauchen viel mehr Medienkompetenz, um uns und unsere Meinungen vor Manipulationen zu schützen. ■

* Mehr dazu: Schomann, Conrad (2019). Inoffizielle Engine-WM TCEC – Finale: LCO vs. Stockfish. Rochade Europa, 4, 42-43.

Der Lüge auf der Spur

Prinzipieller Ablauf bei der Entwicklung eines KI-Tools zur Fake-News-Erkennung



Zeitintensive Erfassung
Zwei Korpora
(»GUT« und »SCHLECHT«)
werden erstellt.



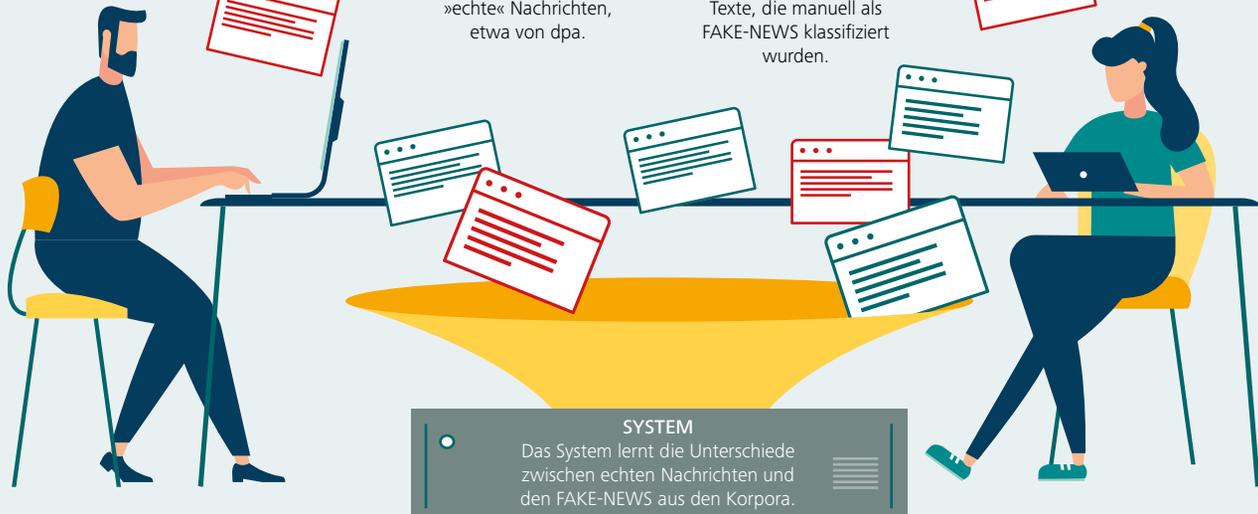
KORPUS »GUT«
Dieses Korpus enthält
»echte« Nachrichten,
etwa von dpa.



KORPUS »SCHLECHT«
Dieses Korpus enthält
Texte, die manuell als
FAKE-NEWS klassifiziert
wurden.



Die Inhalte der
Texte für die Korpora
werden manuell
gesichtet und dem
System zum Trainieren
zur Verfügung gestellt.



Die gelernten Unterschiede betreffen
Meta-Daten und linguistische Merkmale.
Die beim Lernen entstandene KI
vergleicht neue Texte anhand der
gelernten Unterschiede und
klassifiziert entsprechend.



Schnelle Verarbeitung
Die KI klassifiziert in Echtzeit.

www.deutschetageszeitung.de/politik

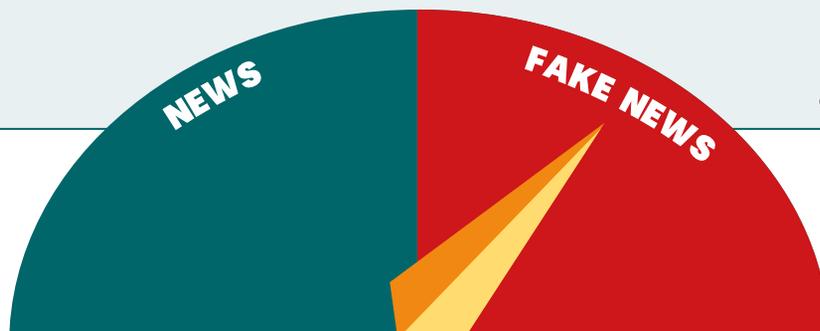
18.2.2017 - 07:38 Uhr

METADATEN
sind etwa
Quelle (URL),
Datum, Uhrzeit
und Autor.

Da aktuell schlechte Abschnitten der Union in den Umfragen, dürfte wohl daran liegen, dass es die aktuelle Bundeskanzlerin Angela Merkel und ihre Union aus CDU und CSU war, welche laut Aussage von Bürgern auf den Straßen mehrerer deutscher Städte gegenüber Deutscher Tageszeitung bekunden: »die politische Verantwortung für den Massenmord des mordenden Flüchtling und Asylbewerber Anis Amri trägt, der auf dem Berliner Weihnachtsmarkt am Breitscheidplatz (10.12.2016) – über 12 Menschen ermordete und 50 Menschen verletzt hat« – ganz abgesehen von der jüngst bekannt geworden offensichtlich katastrophalen Führungsaufsicht von Angela Merkel in puncto bundesdeutscher Geheimdienste... (I.W.Urgyanjin--BTZ)

LINGUISTISCHE MERKMALE
sind etwa Häufung von Wörtern (aktuell, Mord etc.), ungenaue Angaben, Fehler, fehlplatzierte Gedankenstriche.

ERGEBNIS DER AUSWERTUNG DER KI-SOFTWARE





»Information kann Munition sein«

Das »Ibiza-Video« hat Österreich in eine Regierungskrise gestürzt. Die Echtheit haben Fachleute des Fraunhofer SIT geprüft. Sie wundern sich nur über eines: dass Medien ihr Material so selten checken lassen.

Text: Josef Seitz





Unglaubliche Videobilder, aber wahr: Das sogenannte »Ibiza-Video« hat Prof. Martin Steinebach mit einem fünfköpfigen Team von Fachleuten des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie SIT in Darmstadt auf seine Echtheit begutachtet. Unser Foto zeigt ihn vor einer Aufnahme eines Großrechners aus den 1960er Jahren im Deutschen Rechenzentrum. © Josef Seitz

Ibiza und die Folgen



17. Mai: »Spiegel« und »Süddeutsche Zeitung« veröffentlichen ein heimlich gefilmtes Video, in dem Heinz-Christian Strache (r.) und Johann Gudenus über Staatsaufträge als Gegenleistung für Millionenspenden sprechen – und nachdenken über die Kontrolle der »Kronzeitung«. © YouTube



18. Mai: Einen Tag nach Veröffentlichung müssen die Beteiligten reagieren: Heinz-Christian Strache (Foto) tritt als Vizekanzler Österreichs zurück, Johann Gudenus gibt sein Amt als Klubobmann der FPÖ ab. Auch alle übrigen FPÖ-Minister treten ab. © ddp



26. Mai: In Österreich sind 6,4 Millionen Wahlberechtigte eingeladen, ihre Stimme zur Europawahl abzugeben. Einen Triumph erlebt die ÖVP des Kanzlers Sebastian Kurz. Die Partei legt gegenüber 2014 um 7,57 Prozent der Stimmen zu. Die FPÖ verliert 2,52 Prozent. © imago images

Professor Steinebach, »Kamera-Ballistik« ist ein Begriff, mit dem Sie arbeiten. Sind Videos wirklich Waffen, müssen deren Bilder wie Pistolenkugeln zurückverfolgt werden?

»**Ganz sicher können Videos wie Waffen wirken**«, sagt Martin Steinebach, »im Informationszeitalter kann Information Munition sein.« Wie explosiv bewegte Bilder die Welt bewegen können, hat der Leiter der Abteilung Media Security und IT Forensics am Fraunhofer SIT in Darmstadt gerade erlebt. Kaum hatte sein Team das sogenannte »Ibiza-Video« auf Echtheit begutachtet, schon konnte er in den Medien verfolgen, wie das Nachbarland Österreich in eine Regierungskrise trudelte. Vizekanzler zurückgetreten. Minister verabschiedet. Bundeskanzler per Misstrauensvotum abgewählt. Anlass: das heimlich gefilmte Gerede des FPÖ-Politikers Heinz-Christian Strache darüber, wie er sich die Medienmacht in Österreich holen und den Steigbügelhaltern dafür mit Staatsaufträgen danken will. Um sicherzugehen, dass es sich nicht um Fake News handelt und nicht um Deep Fake, hatte das Nachrichtenmagazin »Spiegel« dem Fraunhofer SIT Zehn-Minuten-Fragmente zur technischen Begutachtung zur Verfügung gestellt.

Mit Fälschungen haben die beteiligten Medien ihre Erfahrungen. Gerade hat der »Spiegel« die Betrugsreihe seines Starautors Claas Relotius öffentlich mit einem 17-Seiten-Abschlussbericht dokumentiert. Die »Süddeutsche Zeitung«, die ebenfalls das »Ibiza-Video« veröffentlichte, hatte frei erfundene oder aus Versatzstücken montierte Star-Interviews aus Hollywood gedruckt, die Autor Tom Kummer nie geführt hatte. Den »Stern« hat seine Blamage mit den gefälschten

Hitler-Tagebüchern in eine Krise gestürzt – und zu filmischen Ehren mit einer TV-Satire gebracht.

»Mich wundert«, sagt Martin Steinebach, »dass man sich bei den Medien bis heute so wenig Gedanken macht über die Herkunft ihres Materials.« Seit 20 Jahren beobachtet er als Medien-Forensiker, wie digitale Mediendaten einen immer größeren Einfluss auf die Informationsgesellschaft bekommen. »Und auf der anderen Seite ist diese Informationsgesellschaft so unvorbereitet auf die Frage: Kann ich denen überhaupt vertrauen?« Zwar sind die Bildbearbeitungsprogramme inzwischen so weit perfektioniert, dass Manipulationen für den Betrachter kaum mehr erkennbar sind. Doch ist Steinebach überzeugt, dass technisch viele Fälschungen einfach zu filtern wären.

Fünf Spezialisten des Fraunhofer SIT arbeiteten eine Woche an der Begutachtung des Materials. Die Brisanz der gefilmten Aussagen hat Steinebach zu dem Zeitpunkt nicht beschäftigt. »Wenn ich Videos anschau, dann vergleiche ich nicht inhaltlich – für mich ist das in dem Moment ein langgezogenes Rauschen mit Pegelabständen.« Zunächst ließ das Team das Videomaterial automatisiert von selbstprogrammierten Algorithmen überprüfen, um Datenbesonderheiten in Auflösung, Abstraten, Frequenzverläufen ausfindig zu machen. Zusätzlich hatte der »Spiegel« das Fraunhofer SIT explizit damit beauftragt, abzuklären, ob die Innenaufnahmen der Villa mit Fotos des Anwesens auf Ibiza übereinstimmen. Deshalb vollzog das Gutachter-Team die Blickwinkel der Kameras nach, matchte Gegenstände zum Abgleich. Martin Steinebach ist selbstbewusst – für sich und für sein Team: »Es gibt andere Experten. Aber wir sind da sicherlich nicht die zweite Wahl.

»Mich wundert, dass man sich bei den Medien bis heute so wenig Gedanken macht über die Herkunft des veröffentlichten Materials.«

Prof. Martin Steinebach



27. Mai: Misstrauensvotum im Nationalrat – Sebastian Kurz (Foto) wird als Bundeskanzler mit den Stimmen von SPÖ, FPÖ und der Liste Jetzt gestürzt. Er geht in die Geschichte Österreichs ein als der Kanzler mit der kürzesten Amtszeit. © APA/LUKAS HUTER

Wir bewerten Material auf Grundlage des aktuellen Forschungsstandes, entwickeln spezifische Experten-Werkzeuge, die nirgendwo sonst verfügbar sind.«

Der Multimedia-Forensiker ist überzeugt, dass solche Überprüfungen immer mehr an Bedeutung gewinnen werden. Immer mehr digitale Daten in immer mehr Verbreitungskanälen – und immer besser sind die Möglichkeiten, sie zu fälschen. »Da hätten«, findet Steinebach, »sich die Medien längst die Frage stellen müssen: Wie schützen wir uns?«

»Ein grober Check ist absolut einfach«, versichert Martin Steinebach. Ein einfacher Re-Upload-Filter, wie YouTube ihn benutzt, kann schon ausreichen, um zu verhindern, dass bereits gesendetes Material aus einem alten Vorfall als Aufnahmen zu einem tagesaktuellen Geschehen neu präsentiert wird. Steinebach erinnert an Bilder, die im September 2001 nach dem Flugzeug-Attentat auf die Twin Towers in New York um die Welt gingen. Gezeigt wurden Bilder von jubelnden Arabern. Die Botschaft: Die arabische Welt feiert den Sieg des Terrorismus. Tatsächlich handelte es sich um Archivmaterial ohne Bezug zu 9/11. »Wenn jemand ganz rational Bilder verwendet, um emotional aufzuwiegeln, dann wird das wirklich gefährlich«, befindet Steinebach. »Das ist Benzin ins Feuer gekippt.«

Deshalb plädiert der Multimedia-Forensiker, dass Medien Infrastrukturen schaffen müssen, um Fälschungen in Echtzeit zu entlarven. »Bei einfachen Manipulationen durch technisches Wiederverwenden ist das keine Herausforderung«, sagt der Fraunhofer-Fachmann. »Während die Redaktion Videomaterial ins Schnittsystem lädt, könnte im Hintergrund

die Kontrolle automatisch durchgeführt werden. Während der Redakteur das Material sichtet und schneidet, prüft das System dessen Vorhandensein in der Datenbank. Nach kurzer Zeit kann dann die Warnung erfolgen: »Das Material hatten wir schon vor Jahren in einem ganz anderen Zusammenhang.« Zusätzlich plädiert Steinebach für neue Infrastrukturen in den Medien, um digital den Weg von der Aufnahme bis zur Veröffentlichung transparent zu gestalten. Dann signieren die Kameras der Journalisten den Content. Wenn geeignete Strukturen geschaffen werden, kann jede Redaktion immer wieder auf die Ursprungsdaten zurückgreifen und sich von deren Echtheit überzeugen.

Das Thema Deep Fake wird auch die Wirtschaft in der Zukunft noch mehr beschäftigen, ist Steinebach überzeugt. Wo heute noch gefälschte Mails verbreitet werden, in denen der Unternehmenschef angeblich Mitarbeiter auffordert, eine große Menge Geld heimlich zu überweisen, werden Kriminelle dank immer einfacherer Technik bald auf Skype zurückgreifen können. Dann spricht der angebliche Chef persönlich in die Kamera, mit überzeugendem Gesicht und realitätsnaher Stimme: Lieber Mitarbeiter, ich autorisiere Sie hiermit, zehn Millionen in Bitcoin nach Singapur zu transferieren. »Und puff«, sagt Steinebach, »sind die zehn Millionen weg.« ■

»Wenn jemand ganz rational Bilder verwendet, um emotional aufzuwiegeln, dann wird das wirklich gefährlich. Das ist Benzin ins Feuer gekippt.«

Prof. Martin Steinebach, Media Security und IT Forensics



© Josef Seitz



Forschen »for Future«

Eine Entdeckung aus dem Jahr 1917 wird zukunfts-fähig: Das Fraunhofer IPM entwickelt Kühlsysteme, die das Klima schonen – und arbeitet dabei an einem Weltrekord!

Text: Christine Broll

Momente wie dieser sind nur wenigen Forscherinnen und Forschern vergönnt. Als Pierre Weiss und Auguste Piccard ihren Elektromagneten auf ein Stück Nickel richten, beobachten sie ein Phänomen, wie es vor ihnen noch niemand beschrieben hat. Das Metall erwärmt sich. Die beiden Physiker schalten das Magnetfeld aus. Das Nickel kühlt ab. Weiss und Piccard nennen das Phänomen »Magnetokalorik«. Es ist das Jahr 1917. In Europa tobt der Erste Weltkrieg. Der Komiker Buster Keaton bekommt seine erste Filmrolle. Die November-Revolution beendet die Zarenherrschaft in Russland.

Gut hundert Jahre später treffen sich jeden Freitag Tausende Schüler, um bei ihren „Fridays for Future“-Demonstrationen für mehr Klimaschutz zu kämpfen – und die Magnetokalorik des Pierre Weiss und Auguste Piccard ist auf dem besten Weg, sich zu einer klimaschonenden Technik zu entwickeln. Der durch Magnetisierung erzeugte Zyklus von Erwärmen und Abkühlen lässt sich hervorragend zur Kühlung nutzen, ganz ohne klimaschädliche Kältemittel. Weltweit arbeiten viele Gruppen an Kühlschränken, industriellen Kühlsystemen und Klimaanlageanlagen mit Magnetokalorik-Technologie.



»Die Erde schützen«:
Für besseren Klimaschutz
demonstrieren Schüler bei
»Fridays for Future« am
Münchener Königsplatz.
© ddp

Am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg hat das Team von Dr. Kilian Bartholomé ein äußerst effizientes Konzept für die Wärmeübertragung entwickelt und liegt damit international gut im Rennen mit diesem Beitrag zum Klimaschutz.

Kühlen ohne Gefahr fürs Klima: Warum der Bedarf so groß ist

Der Bedarf an einer innovativen Kühltechnologie, die ohne Kältemittel auskommt, ist riesig. Denn die heute üblichen fluorierten Kohlenwasserstoffe (FKW) haben ein hohes Treibhauspotenzial. Die EU hat daher ihre Verwendung deutlich eingeschränkt. Einige dieser Kältemittel werden in den nächsten Jahren verboten, bei anderen wurde ein »Phase-down« in Gang gesetzt. Diese Maßnahme reduziert schrittweise die Gesamtmenge an FKW, die in Verkehr gebracht werden darf. Durch die Verknappung steigt der Preis für die betroffenen Kältemittel enorm.

Als Alternative zu FKW gibt es natürliche Kältemittel, wie zum Beispiel Butan oder Propan. Diese Gase werden heute bereits in Haushaltskühlschränken eingesetzt. Sie haben

allerdings einen großen Nachteil: Sie sind brennbar. Die in Haushaltskühlschränken enthaltene Menge gilt als gefahrlos. Für große Kühlanlagen wie zum Beispiel in Supermärkten sind sie keine Option. Die Industrie arbeitet an alternativen Kältemitteln. Doch bis jetzt gibt es keine überzeugenden Lösungen.

Das Kühlsystem von Kilian Bartholomé kommt ganz ohne Kältemittel aus. Als magnetokalorisches Material verwendet es eine umweltfreundliche Lanthan-Eisen-Silizium-Legierung, die sich beim Anlegen eines Magnetfeldes erwärmt und beim Abschalten wieder abkühlt. Zum Abführen der entstandenen Wärme hat Bartholomé ein besonderes Verfahren entwickelt und auch schon patentiert.

Er setzt beim Bau seiner Kältemaschine auf die Nutzung latenter Wärme – das ist die Energie, die eine Flüssigkeit zum Verdampfen benötigt. »Da Wasser sehr viel Energie aufnimmt, wenn es vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht, nutzen wir den Verdampfungsprozess, um die Wärme zu übertragen«, erklärt der promovierte Physiker. »So erreichen wir bei der gleichen Wassermenge eine höhere Effizienz.«

Kältemittel im
»Phase-down«:
Sie werden
verknappt –
das lässt
die Preise
explodieren.

Er peilt den Weltrekord für magnetokalorische Kühlsysteme an: Dr. Kilian Bartholomé. © Fraunhofer IPM



► Auf die Idee, den Verdampfungsprozess für den Wärmetransport zu nutzen, kam Kilian Bartholomé durch Heatpipes, die als Röhrenkollektoren bei Solaranlagen oder zur Computerkühlung eingesetzt werden. Die Heatpipes bestehen aus einem luftleeren Rohr, in das etwas Flüssigkeit eingeschlossen ist. Wird die eine Seite des Rohres erwärmt, verdampft das Fluid auf dieser Seite und kondensiert auf der kalten Seite. Dabei werden hohe Wärmeübertragungsraten erreicht.

Die magnetokalorische Heatpipe, die am Fraunhofer IPM entwickelt wird, ist allerdings wesentlich komplexer. Sie besteht aus vielen kleinen Kammern, in denen sich das magnetokalorische Material befindet. Damit die Legierung vom Wasserdampf optimal durchdrungen werden kann, hat es eine feinporöse Struktur. Das Rezept für die Herstellung der porösen Legierung stammt von der Arbeitsgruppe von Dr. Sandra Wieland am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM in Bremen.

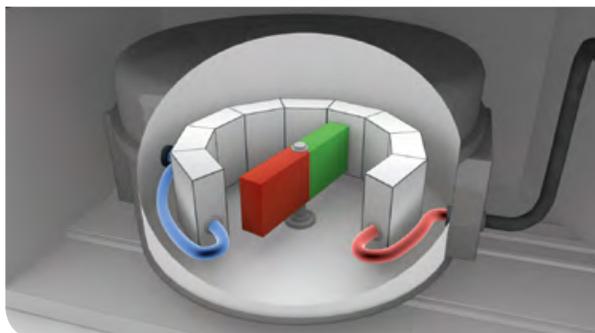
Um die Effizienz weiter zu steigern, ordnet Bartholomé die Segmente der Heatpipe kreisförmig an und lässt in der Mitte einen Elektromagneten rotieren. Wenn der Demonstrator Ende des Jahres fertig ist, soll er eine Leistung von 300 Watt haben. Zum Vergleich: Der Kompressor eines Haushaltskühlschranks hat eine Leistung von 50 bis 100 Watt. Schon jetzt kann das System mit einer sehr hohen Frequenz gefahren werden. Daher hat sich die Freiburger Forschergruppe vorgenommen, mit dem Demonstrator einen Weltrekord für magnetokalorische Kühlsysteme zu brechen – und zwar in der Kategorie Leistung. Das Ziel ist, 50 Prozent des theoretisch maximalen Wirkungsgrades zu erreichen. Vergleichbare Systeme erreichen heute rund 30 Prozent.

Die Industrie zeigt schon großes Interesse, zum Beispiel die Philipp Kirsch GmbH, die Spezialkühlschränke für medizinische Labore, Apotheken und Krankenhäuser herstellt. Das deutsche Traditionsunternehmen arbeitet in einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt mit dem Fraunhofer IPM zusammen. »Wir wollen auf Basis der Magnetokalorik ein Minus-86-Grad-Gerät auf den Markt bringen«, sagt Geschäftsführer Jochen Kopitzke. »Die Magnetokalorik hat ein sehr großes disruptives Potenzial und könnte die Kompressorkühlung mittelfristig ablösen. Wir sehen da einen klaren Markt, den wir uns erschließen können.« ■

»Die Magnetokalorik hat ein sehr großes disruptives Potenzial. Wir sehen da einen klaren Markt, den wir uns erschließen können.«

Jochen Kopitzke, Geschäftsführer des Kühl-Spezialisten Philipp Kirsch GmbH

Warmes Wasser strömt von rechts in das System. In den Segmenten befindet sich das magnetokalorische Material. Es wird durch den rotierenden Elektromagneten erwärmt und abgekühlt. Das abgekühlte Wasser verlässt auf der linken Seite das System. © Fraunhofer IPM



Der Mit-Entdecker der Magnetokalorik, Prof. Auguste Piccard, in seiner selbst konstruierten Aluminiumkugel. Am 27. Mai 1931 stieg er damit in die Stratosphäre auf. © dpa

Magnetokalorik – der weite Weg von der Historie in die Zukunft

Auguste Piccard, der Mit-Entdecker der Magnetokalorik, hat nicht nur Physik-Geschichte geschrieben. Auch als Abenteurer ging der Schweizer in die Geschichte ein. Im bayerischen Augsburg kletterte er am 27. Mai 1931 zusammen mit einem Assistenten in eine Aluminiumkugel von 2,10 Metern Durchmesser und ließ sich von einem Gasballon auf 15 781 Meter Höhe ziehen. Von der Stratosphäre aus sah er als erster Mensch die Erdkrümmung mit eigenen Augen. Die Rückkehr zur Erde hatte Prof. Piccard nach sieben Stunden im Schwarzwald errechnet. Tatsächlich landete er 17 Stunden nach dem Start im Tiroler Ötztal. Da waren der Physiker und sein Assistent schon totgesagt.

Dass die Magnetokalorik über hundert Jahre nach ihrer Entdeckung immer noch nicht in der Anwendung angekommen ist, liegt an der komplexen Physik, die dahintersteckt. Nur Materialien, die selbst magnetisch sind, lassen sich durch Magnetisierung erwärmen. Und das auch nur in einem engen Temperaturbereich, der für jedes Material spezifisch ist. Legt man bei diesen Temperaturen ein Magnetfeld an, richten sich die Elementarteilchen in Richtung des Magnetfeldes aus. Dabei entsteht thermische Energie. Das Material erwärmt sich.

Eisen zeigt den magnetokalorischen Effekt bei rund 750 Grad Celsius, Nickel bei etwa 360 Grad. Es gibt nur ein einziges Element, das sich auch bei Raumtemperatur magnetokalorisch erwärmen lässt: Gadolinium, ein sehr seltenes und daher auch extrem teures Metall. Erst Ende der 1990er-Jahre wurden Legierungen entwickelt, die bei Raumtemperatur magnetokalorisch sind und sich kostengünstig industriell herstellen lassen. Eine davon ist die Lanthan-Eisen-Silizium-Legierung, mit der die Arbeitsgruppe am Fraunhofer IPM arbeitet.

KI: Wegbereiter für die Meerforelle

Einmal jährlich schwimmt die Meerforelle die Flüsse hinauf, um dort zu laichen. Doch vielerorts versperren Wehre ihr den Weg, in zahlreichen Flüssen ist der Fisch bereits ausgestorben. Höchste Zeit zu handeln: Die Künstliche Intelligenz hilft dabei, Renaturierungsmaßnahmen zu bewerten und anzupassen.

Text: Janine van Ackeren

Die Meerforelle ist ein sehr besonderer Fisch. Jahr für Jahr verlässt *Salmo trutta trutta*, wie die Fachleute sagen, zum Laichen das Salzwasser der Ostsee und kämpft sich flussaufwärts ins Süßwasser vor, um Kühlen zu buddeln und die Eier abzulegen. Der Weg ist mühsam, an vielen Stellen machen ihn Kraftwerke aussichtslos. Aktuell hilft Künstliche Intelligenz dem bis zu 130 Zentimeter großen Fisch – und könnte beitragen, ihn vor dem Aussterben zu retten und die Funktionsfähigkeit von Fischtreppen und Renaturierungsmaßnahmen zu überprüfen.

Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD in Rostock haben Künstliche Intelligenz (KI) mit Videoschnipseln darauf trainiert, die Meerforelle von vorbeischwimmenden Blättern und anderen Fischen zu unterscheiden. Jetzt kann KI beitragen, die Wanderwege dieses Lachsfishes erstmals flächendeckend zu untersuchen. Das Land Mecklenburg-Vorpommern hat das Institut für Fisch und Umwelt mit einer wissenschaftlichen Zählung der Meerforellen beauftragt. Dazu bauen Mitarbeiter Engpässe ein, die die Forellen passieren müssen, und überwachen diese mit Kameras. Die Auswertung der Aufnahmen ist jedoch extrem langwierig. Etwa drei Monate ist ein Mitarbeiter mit der Zählung aller Engstellen beschäftigt.

Diese langwierige Prozedur ist nun erheblich verkürzt.

»Wir setzen Künstliche Intelligenz ein, um die Videodaten auszuwerten«, erläutert Matthias Vahl, Gruppenleiter am Fraunhofer IGD. »Statt drei Monaten braucht das System für die Auswertung lediglich fünf Tage: Die automatische Klassifikation nimmt drei bis fünf Stunden in Anspruch, die Nacharbeit durch die Mitarbeiter noch einmal drei bis vier Tage.«

Ein weiterer Vorteil: Statt wie bisher nur fünf bis sechs Flüsse auf das Vorkommen von Meerforellen zu untersuchen, kann sie nun wirklich flächendeckend beobachtet werden. Die deutlich umfassenderen Daten haben die Forscherinnen und Forscher genutzt, um das System mit einem Nach-Training auf eine noch solidere Basis zu stellen. »Die Künstliche Intelligenz nimmt vielfach Unterschiede wahr, die das menschliche Auge gar nicht erkennen kann. So kann beispielsweise die Trübung in einem neu untersuchten Gewässer geringfügig anders sein als in den bisherigen Flüssen. Je variantenreicher die Trainingsdaten, desto geringer ist das Risiko, dass das System etwas lernt, das gar nicht beabsichtigt ist«, erläutert Vahl. Per Zufallsgenerator suchten die Forscherinnen und Forscher aus den aktuellen Daten einige wenige heraus, diese wurden per Hand gelabelt. Zehn Prozent der Originaldaten nutzten die Wissenschaftler für das Nach-Training, 90 Prozent als erneuten Test.

Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Nicht ein einziger Fisch entgeht dem System – die Sensitivität liegt also bei 100 Prozent. Auch die Spezifität ist mit 97 Prozent sehr hoch. Das heißt: Nur in drei Prozent aller Fälle meint das Tool, in einem Blatt oder Ähnlichem eine Meerforelle zu entdecken. Diese restlichen drei Prozent auszumerzen, kostet die Mitarbeiter des Instituts für Fisch und Umwelt lediglich drei bis vier Tage. Mit Unterstützung der Künstlichen Intelligenz können sie die Renaturierungsmaßnahmen daher nicht nur deutlich schneller, sondern auch umfassender bewerten – und den Bestand der Meerforelle durch eventuelle Anpassungen erneut nach oben treiben. ■



© AdobeStock



Es kracht am Abend

Mit der Ferienzeit steht die Hauptsaison an den Flughäfen bevor. Das Fraunhofer ICT ist das einzige unabhängige deutsche Testcenter, das mit Explosivstoffen arbeiten darf - im Dienst der Flugsicherheit.

Text: Mehmet Toprak

Steigende Passagierzahlen sind eine Herausforderung für die Sicherheitschecks am Flughafen.
© Flughafen München



Wenn Dirk Rösling das Resultat seiner Arbeit abgeben will, darf er keine E-Mail senden. Auch der Postweg ist verboten. Rösling muss nach Paris reisen und seinen Bericht persönlich zur European Civil Aviation Conference (ECAC) bringen. Zu brisant sind seine Ergebnisse. Und im wahrsten Sinn: hochexplosiv.

Dr. Dirk Rösling leitet das »Testcenter zur Bewertung von Explosivstoff-Detektionssystemen« am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. Das Institut liegt etwas abgelegen auf einem Berg in Pfinztal bei Karlsruhe. Das mag Zufall sein. Doch das ICT betreibt das einzige unabhängige Testcenter in Deutschland, das echte Explosivstoffe für seine Arbeit einsetzen darf. »Wir sind auch die Einzigen in Deutschland«, unterstreicht Rösling die Sonderstellung, »die Flüssigsprengstoffe zu Testzwecken selbst herstellen dürfen.«

Flugsicherheit ist eine der Hauptaufgaben des Testcenters am ICT. Von den 24 größten deutschen Verkehrsflughäfen starteten im vergangenen Jahr 122,6 Millionen Passagiere. Mit der Ferienzeit steht die Hochsaison im Flugverkehr bevor. Als verkehrsreichsten Tag 2018 hat die Deutsche Flugsicherung den 7. September ermittelt – mit 3.079.093 zivilen Flügen an einem einzigen Tag. Nicht nur in solchen Hochphasen stauen sich die Flugreisenden in langen Schlangen vor den Handgepäckkontrollen. Sie müssen ▶



Verdächtige Stoffe im Gepäck werden auf dem Display markiert.
© alle Fotos: Fraunhofer ICT



Ein Mitarbeiter im Testcenter legt das Handgepäck in die Plastikwannen.

► Wasserflaschen schnell noch entsorgen, Elektrogeräte und Metallgegenstände in eine Wanne legen. Die wirken als Stör-objekte auf die heutige Scanner-Technik. Dirk Röseling macht aber Hoffnung: Die neueste Scanner-Generation sei in der Lage, das Gepäck auch inklusive Flüssigkeiten und Elektronik zuverlässig zu durchleuchten. Lernfähige Algorithmen, größere Rechenpower und vor allem verbesserte Software machen es möglich – und damit den Sicherheitscheck attraktiver für die Flughafenbetreiber, die sich den Aufwand mit den Extrawannen sparen, und schneller für die Passagiere.

Sarah Steinert packt den Koffer. Die Kleidung. Die Toilettentasche mit Zahnbürste, Zahnpasta, Parfüm und Cremetuben. Dazu Ladegeräte, ein Mückenspray, den Reise-wecker. Dann greift sie zu einem graubraunen Plastikbeutel, gefüllt mit 500 Gramm Nitroglycerin. Sie steckt ihn vorsichtig zwischen Tablet-PC und T-Shirts. Steinert ist eine von 17 Mitarbeitenden am Testcenter. Die gefährlichen Stoffe, mit denen sie Tag für Tag zu tun hat, das TNT und das Semtex, beeinträchtigen ihre gute Laune nicht. Sie testet, ob die Explosivstoff-Detektionssysteme in der Sicherheitskontrolle an den Flughäfen die Sprengstoffe in ihrem Koffer entdecken. »Mir macht die Arbeit Spaß«, sagt sie. »Wir sind ein gutes Team, und der Job bietet viel Abwechslung.«

Gepäckscanner, die die Prüfung am Fraunhofer ICT bestehen, bekommen von der European Civil Aviation Conference das ECAC-Zertifikat. Grundlage aller Tests ist ein europaweit ver-

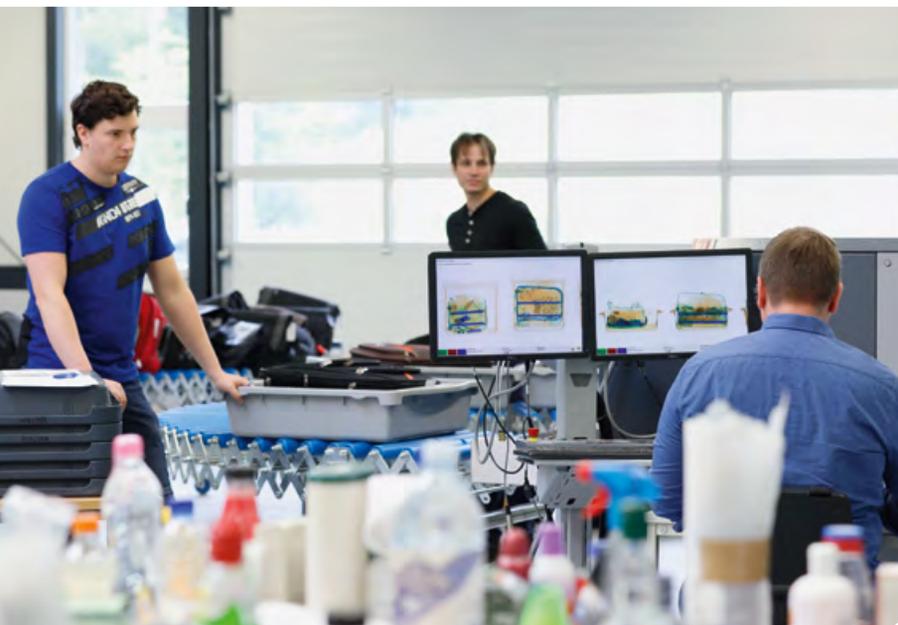
bindliches Protokoll, das Dirk Röseling mitentwickelt hat. Regelmäßig arbeitet er auch mit der Bundespolizei zusammen, die Listen mit neuen Sprengstoffen oder neuen Explosivstoff-kombinationen liefert. Diese baut das ICT in seine Tests ein.

Wer das Testcenter besucht, sieht, welcher Aufwand dahintersteckt. In der riesigen Testhalle stehen Sets mit 100 und mehr Koffern, Taschen und Rucksäcken unterschiedlichster Bauart. Auf großen Stahlregalen sind Getränkeflaschen und Dosen aufgereiht, die jedem Getränkemarkt Ehre machen würden. Außerdem ein großer Tisch vollgeladen mit Dosen, Cremes, Tuben, Sprays und Reinigungsmitteln. Die Sprengstoffe bringt Sarah Steinert auf einem Rolltisch in die Halle. Bei jeder Kontrolle müssen die ICT-Experten prüfen, ob die Software des jeweiligen Geräts den Sprengstoff entdeckt und rot markiert hat. Oder ob es ihn schlichtweg übersieht. Auch ein Fehlalarm landet im Testbericht.

Immer neue Explosivstoffe

Doch ist das Testcenter mehr als nur ein hochqualifizierter Forschungsdienstleister für die Sicherheitsbranche. Etliche Arbeitszeit fließt direkt in die Forschung. Röseling und sein Team analysieren immer wieder neue chemische Kombinationen oder veränderte Formulierungen bekannter Stoffe. Sie testen, wie die Detektoren damit zurechtkommen. Schließlich arbeiten auch Terrororganisationen an immer neuen Explosivstoffen für ihre Bomben.

TNT?
Semtex?
Nitro-
glyzerin?
»Mir macht
die Arbeit
Spaß.«



Das Team am Fraunhofer ICT prüft, ob die Gepäckscanner die in Koffern versteckten Sprengstoffe entdecken.



Ein reicher Vorrat an Flüssigkeiten und Getränken für das Befüllen des Gepäcks, mit dem die Scanner getestet werden.



Mehr Effizienz,
niedrige
Kosten bei
der Kontrolle

Ein Mitarbeiter mischt
flüssige Explosivstoffe für
Testzwecke.

Ein wichtiges Forschungsprojekt ist XP Dite (Accelerated Checkpoint Design Integration Test and Evaluation). Das von der EU mit 14,6 Mio Euro geförderte Projekt hat zum Ziel, alle Sicherheitstechnologien in ein ganzheitliches System zu integrieren, um optimale Sicherheit und gleichzeitig mehr Schnelligkeit und Komfort für die Passagiere zu erreichen. Die Grundidee: Künftig wird Flughafenbetreibern von den Sicherheitsbehörden nur mehr vorgeschrieben, welche Sicherheitsstufe sie erreichen müssen. Wie die Betreiber das aber umsetzen, bleibt ihre Sache. Sie können die technische Ausrüstung, die Geräte und Technologien selbst wählen, die Systeme dabei beliebig kombinieren und untereinander vernetzen. Dazu stellt XP Dite eine Reihe von Planungstools und Evaluierungsmethoden bereit. Die Flughafenbetreiber sparen durch die höhere Effizienz und den systemorientierten Ansatz Kosten, die Passagiere können komfortabler einchecken – ohne Umwege und Wartezeiten.

Am Abend kracht es doch am Fraunhofer ICT. Damit die Experten nicht mehr gebrauchte Explosivstoffe entsorgen können, steht eine 20 Tonnen schwere Detonationskugel bereit. Die Kugel wird verschlossen, der Fernzünder betätigt. Zu hören ist nur ein dumpfes Wump. ■



In der 20 Tonnen schweren Detonationskugel werden nicht mehr benötigte Explosivstoffe entsorgt.

Scharf zum Fleisch, sanft zur Butter

Passt sich das Messer der Zukunft dem Zweck an?
Wie programmierbare Materialien eines Tages unseren
Alltag erreichen können - und wo sie heute stehen.

Text: Mehmet Toprak

Große Dinge kündigen sich manchmal im Kleinen an. Chris Eberl hält einen unscheinbaren Balken aus hartem Kunststoff in der Hand. Er drückt mit dem Finger auf das eine Ende. Plötzlich kommt Leben in den Balken, und eine Welle wandert 20 Zentimeter auf der Oberfläche von einer Seite zur anderen. Dann wird der Balken wieder starr. Die Veränderung ist reversibel. Wenn beim 20-Zentimeter-Balken der Druck endet, wandelt sich das Material zurück. Es ist, als wäre ein Schalter eingebaut. Doch tatsächlich sind es viele kleine Schalter, die in die Struktur des Materials integriert sind.

Was auf den ersten Blick nur aussieht wie ein netter Gag, kann der Vorbote einer technischen Revolution sein. Chris Eberl, Professor und stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, mag ein anderes Wort lieber: »Paradigmenwechsel«. Nach seiner Überzeugung wird dieselbe Technologie, die im Fraunhofer-Labor in Freiburg eine Welle auf ein Stück Kunststoff zaubert, in Zukunft die Entwicklung völlig neuer Produkte ermöglichen.

Schritt für Schritt: Die Idee wird Wirklichkeit

Die Technologieansätze dahinter wurden schon in den Siebziger- und Achtzigerjahren diskutiert. Was damals noch ferne Theorie war, soll jetzt unter dem Stichwort Programmierbare Materialien Schritt für Schritt Wirklichkeit werden. Die DNA von programmierbaren Materialien ist die einzigartige Fähigkeit, wie ein Computer Informationen zu verarbeiten und wie eine Maschine darauf zu reagieren. Allerdings wird die Information nicht als elektrisches Signal verarbeitet, sondern als Verformung. Damit ist es möglich, die innere Struktur eines Werkstoffs so zu designen, dass bei Komprimierung eine Welle an einer vorbestimmten Stelle entsteht, die sich bei weiterer Komprimierung fortbewegt. Denn Struktur und

Aufbau des Materials bestimmen auch seine Eigenschaften. So könnte ein Stück Material an einer Stelle weich sein, an der anderen Stelle hart. Man könnte also einen Autositz so konstruieren, dass er je nach Beschleunigung die Passagiere fest umfasst oder ihnen viel Bewegungsfreiheit lässt. Zu den Eigenschaften, die sich manipulieren lassen werden, gehören zum Beispiel Durchlässigkeit, Härte, Dichte, Wärme- und Stromleitfähigkeit.

Doch ist das nur der Anfang. Chris Eberl sagt: »Im zweiten Schritt geht es darum, adaptive Materialien zu schaffen, die ihre Eigenschaften autonom anpassen, sobald sich Umgebungsbedingungen wie Druck, Temperatur, Luftfeuchtigkeit verändern.«

Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig. Die Fraunhofer-Forschenden am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP denken auch über Filter für Flüssigkeiten nach, die sich schließen, wenn die Flüssigkeit warm wird, und sich öffnen, wenn sie abkühlt. Eine weitere Anwendung wäre die Ummantelung von Akkus für E-Autos. Gerade bei Lithium-Ionen-Akkus kann Hitzeentwicklung zum Problem werden. Ein Batteriegehäuse aus programmierbarem Material würde seine Wärmeleitfähigkeit ab einer gewissen Temperatur hochfahren und so die Hitze nach außen abführen. Wenn dagegen an kalten Tagen das Auto draußen steht, würde sich das Gehäuse in eine schützende Isolationsschicht verwandeln.

Prof. Peter Gumbsch, Institutsleiter am IWM, verweist auf die Vorteile der Technologie: »Wenn in einem Material zwei oder mehr Funktionen integriert sind, ohne dass man externe Bauteile wie Gelenkstellen, Leitungen, Schalter oder Sensoren benötigt, spart das Material und Ressourcen.« Die Endverbraucher bekommen im Idealfall unkompliziert zu bedienende und effizient arbeitende Produkte. Auch die Entsorgung wird einfacher, da in einem Produkt weniger unterschiedliche Materialien verbaut sind.



© AdobeStock

Um solche Konzepte wirklich realisieren zu können, muss man auch bei der Entwicklung und industriellen Fertigung umdenken. »Es geht weniger darum, das optimale Material für eine Funktion zu finden, sondern den richtigen Weg, gewünschte Funktionen in Materialien zu integrieren«, erklärt Gumbsch.

Ein Cluster of Excellence bündelt die Kompetenzen

Für die Forscherinnen und Forscher sind programmierbare Materialien ein so anspruchsvolles Thema, dass Fraunhofer 2018 ein Cluster of Excellence gegründet hat, in dem Institute aus ganz Deutschland zusammenarbeiten. Dazu gehören die Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP, für Bauphysik IBP, für Chemische Technologie ICT, für Werkstoffmechanik IWM sowie für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. So kommen Experten aus verschiedensten Disziplinen zusammen, vom Chemiker und Mathematiker über den Physiker bis hin zum Prozesstechniker und Produktentwickler.

Eines der Ziele der Forschungsteams besteht darin, dass ein Bauteil nicht nur zwischen zwei Zuständen wechseln kann. Es soll auch eine komplexe Wenn-dann-Logik beherrschen: Wenn eine bestimmte Umgebungsbedingung A eintritt, dann wechsele von Eigenschaft A zu Eigenschaft B – aber erst, wenn Umgebungsbedingung B einen bestimmten Wert X erreicht. Auf diese Weise entstehen Produkte oder Bauteile, die aus wenigen Materialien bestehen, aber gleichzeitig hochkomplexe Funktionen aufweisen. »Je besser wir die Materialien beherrschen, desto komplexere Funktionalitäten können wir einbauen«, erklärt Gumbsch. Eberl ergänzt: »Die Finesse liegt in der inneren Struktur.«

Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, die Materialien in der industriellen Fertigung so zu skalieren, dass nicht nur kleine Bauteile, sondern richtige Produkte entstehen. Denn für den Aufbau der inneren Strukturen der Demonstratoren sind noch Hightech-Werkzeuge wie Laser-Lithographen oder 3D-Drucker erforderlich, die den Werkstoff im Nano- oder Mikrobereich bearbeiten oder Schicht für Schicht aufbauen. Entsprechend begrenzt sind zunächst einmal die Produkte, die auf diese Weise entstehen können.

Die Fraunhofer-Experten Gumbsch und Eberl sind überzeugt, auch die Fertigung rentabel machen zu können: »Wir entwickeln schon Demonstrator und Prototypen. Die Technologie funktioniert, die Konzepte lassen sich umsetzen.«

Schon in einigen Jahren sollen erste Produkte auf den Markt kommen: Filtersysteme zur Reinigung von Wasser oder anderen Flüssigkeiten, aerodynamische Bauteile, deren Form sich anpasst und Greifer und Arme für Soft-Robotics, die auch große Lasten tragen können. ■

Fraunhofer-Experten überzeugt: »Die Technologie funktioniert, die Konzepte lassen sich umsetzen.«

Hochkarätige Grundlage für die Rastersonden-quantenmagnetometer vom Fraunhofer IAF sind künstliche Diamanten. Ein eingeschleustes Elektron wird zum Magnetsensor. © Achim Käflein

Quantensensoren – fit für die Praxis

Das Fraunhofer Leitprojekt QMag

Das Projekt QMag läuft bis 2024 und wird mit insgesamt zehn Millionen Euro zu gleichen Teilen von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Land Baden-Württemberg gefördert. Darin gebündelt sind die Forschungsarbeiten der Freiburger Fraunhofer-Institute für Festkörperphysik IAF, Physikalische Messtechnik IPM und Werkstoffmechanik IWM sowie des Fraunhofer Centre for Applied Photonics CAP in Glasgow, des Fraunhofer-Instituts für Mikro-technik und Mikrosysteme IMM und des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB. Assoziiert sind die Universität Stuttgart und die University of Colorado Boulder. Das Projekt ist Teil der priorisierten strategischen Initiative »Quantentechnologie« der Fraunhofer-Gesellschaft.

Ein einzelnes Elektron in einem Diamanten lässt sich in einen hochsensiblen Magnetsensor verwandeln. Das öffnet Türen zu neuen Anwendungsfeldern – in der Mikro- und Nanoelektronik, Medizintechnik und Prozessanalytik.

Text: Mandy Bartel

Sie sind unser ständiger Begleiter in der digitalen Welt, doch bemerken wir sie meist nur, wenn sie nicht funktionieren: nanoelektrische Schaltungen, Prozessoren oder Datenspeicher. Verbaut in Smartphones oder Computern mit immer mehr Funktionen und einer unglaublichen Datendichte, werden sie stetig kleiner und komplexer. Doch mit der Komplexität steigt die Fehleranfälligkeit, mit den winzigen geometrischen Abmessungen die Herausforderung, sie zerstörungsfrei und zuverlässig zu prüfen – eine Aufgabe für Quantensensoren.

Quantensensoren, genauer Quantenmagnetometer, erlauben es, kleinste Magnetfelder, die durch Stromverteilungen in

nanoelektronischen Schaltungen verursacht werden, präzise abzubilden. Auch in Speichermedien wie Festplatten können sie selbst kleinste Bits sichtbar machen und damit defekte Elemente schnell aufspüren. Dieser bildgebende Nachweis von Stromverteilungen macht die Fehleranalyse, Entwicklung und Produktion von Speichermedien und elektronischen Schaltungen in der Halbleiterindustrie wesentlich effizienter.

Die Crux: Bislang verfügbare Magnetfeldsensoren eignen sich für den industriellen Einsatz nur bedingt. Ihr Betrieb ist mit hohen Kosten und technischem Aufwand verbunden – etwa einer extremen Kühlung. Besonders um Felder nachzuweisen, die durch magnetische Momente von Elementarteilchen entstehen, sind die aktuellen Sensoren

bei Raumtemperatur nicht sensibel genug oder besitzen nicht die nötige Ortsauflösung.

Ein Elektron als digitaler Kompass

Um die Quantensensoren fit für die Praxis zu machen, startete Fraunhofer das Leitprojekt QMag, kurz für Quantenmagnetometrie. Darin entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an sechs Fraunhofer-Instituten und zwei Universitäten gemeinsam Quantensensoren weiter, damit sie bald industriell eingesetzt werden können.

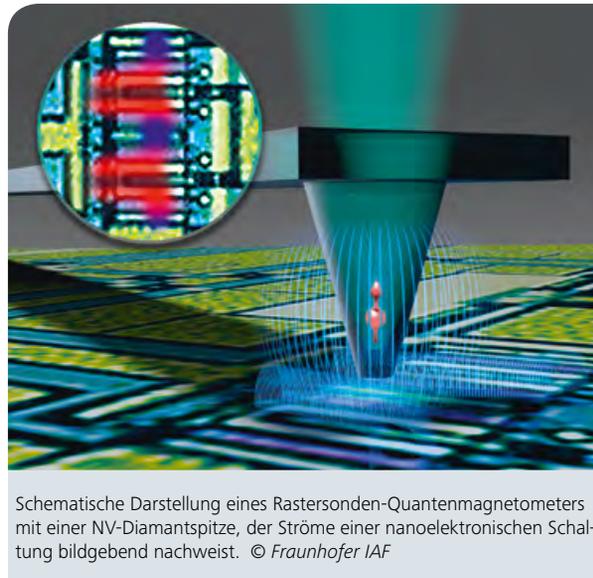
Bis zum Ende des Forschungsprojektes QMag im Jahr 2024 sollen zwei komplementäre Quantenmagnetometer-Systeme entstehen: Beide detektieren winzige Magnetfelder, die durch wenige bewegte Elektronen oder Kernspins hervorgerufen werden. Beide funktionieren bei Raumtemperatur und sollen der Industrie grundlegend neue Anwendungen eröffnen. »Ziel des Leitprojekts QMag ist es, Magnetfelder mit bisher unerreichter räumlicher Auflösung und höchster Sensitivität für Anwendungen in der Elektronik und Medizin bildgebend darzustellen«, fasst Oliver Ambacher, Leiter des federführenden Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg, zusammen.

Forscherinnen und Forscher an seinem Institut arbeiten an sogenannten Rastersonden-Quantenmagnetometern: Als hochkarätige Grundlage dafür dient ein künstlicher Diamant, in dessen Spitze ein Elektron positioniert wird. Dazu werden zwei benachbarte Kohlenstoff-Atome entfernt und eines durch ein Stickstoffatom ersetzt. Das überschüssige Elektron des Stickstoffatoms fällt in die benachbarte Leerstelle hinein. Dieses Elektron besitzt ein magnetisches Moment, durch dessen Orientierung sich das Magnetfeld nachweisen lässt. So wird das Elektron zum digitalen Kompass.

Die Härte des Diamantkristalls ermöglicht die Orientierung dieses Elektrons und damit eine Messung schwacher Magnetfelder über relativ lange Zeiten auch bei Raumtemperatur. Das Hauptanwendungsfeld des Quantenmagnetometers auf Diamant-Basis ist die Mikro- und Nanoelektronik, wo dem bildgebenden und zerstörungsfreien Nachweis von Stromverteilungen eine hohe Bedeutung zukommt.

Alkali-Atome als hochempfindliche Magnetfeldsensoren

Neben dem Diamantsensor arbeiten die Projektpartner parallel an einem zweiten Ansatz, der auf dem gleichen Messprinzip beruht, jedoch in anderen Branchen eingesetzt werden soll: Am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM entstehen höchstempfindliche optisch gepumpte Magnetometer (»OPMs«). Das gaszellenbasierte System eignet sich für Anwendungen in der Prozessanalytik und der Produktions- und Werkstoffkontrolle, da es ebenfalls keine Kühlung benötigt.



Schematische Darstellung eines Rastersonden-Quantenmagnetometers mit einer NV-Diamantspitze, der Ströme einer nanoelektronischen Schaltung bildgebend nachweist. © Fraunhofer IAF

OPMs nutzen die Magnetfeldabhängigkeit elektronischer Übergänge in Alkali-Atomen. Die Funktionsweise dahinter: In den Magnetometern werden die Alkali-Atome in der Gasphase mit einem Laserstrahl so präpariert, dass ihre magnetischen Momente alle die gleiche Orientierung haben. Liegt ein Magnetfeld an, beginnen Elektronen dieser Atome in synchronen Kreisbewegungen zu rotieren. Diese Bewegung kann durch die Absorption eines Laserstrahls geeigneter Wellenlänge sehr empfindlich gemessen werden.

Kleinste Fehler lassen sich präzise aufspüren

Dadurch gelingt der Nachweis winzigster Magnetfelder, etwa um bei der Produktionskontrolle kleinste Risse und Hohlstellen in Materialien aufzuspüren. Um jeden mikroskopischen Werkstoffdefekt entsteht ein magnetisches Streufeld, das ein solch empfindlicher Magnetfeldsensor präzise und berührungslos identifizieren kann. So kann beispielsweise Stahl noch während der Produktion qualitativ geprüft werden. Die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung von hochfesten Stählen ist besonders für den Automobil-Leichtbau von immenser Bedeutung.

Im Rahmen des Leitprojekts QMag entwickeln die Fraunhofer-Experten OPMs technologisch für den Einsatz in Niederfeld-Kernspinresonanz-Systemen vor allem für die chemische Analyse und die Materialcharakterisierung weiter. Doch das Verfahren lässt sich auch für medizinische Einsatzgebiete nutzen. Dort können die hochempfindlichen Magnetometer künftig bislang unerreichte Einblicke in Gehirnfunktionen geben und bei der Diagnose von Krankheiten helfen. Darüber hinaus machen sie durch ihre kompakte Größe die medizinischen Untersuchungen für Patienten in Zukunft angenehmer. ■

Hoffnung auch in der Medizin: Quantensensoren könnten neue Einblicke in Gehirnfunktionen geben

Fraunhofer weltweit

Fraunhofer: Lob vom US-Trickspezialisten

 Gibt es eine Übergangsform zwischen uns Menschen und unseren Verwandten, den Affen? In dem Animationsfilm »Mister Link« (Kinostart war am 30. Mai) findet der Forscher Sir Lionel Frost eine solche Kreatur. Sie ist halb Mensch, halb Tier, dazu außerordentlich sprachgewandt, witzig und gutherzig. Für die Stop-Motion-Technik nutzte die amerikanische Produktionsfirma Laika Fraunhofer-Know-how.

Der 3D-Druckertreiber »Cuttlefish« half, den Figuren Leben einzuhauchen: Die Software, die Forschende vom Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt entwickelt haben, lieferte die Steuerungsbefehle für den Drucker, der die Gesichter der Filmhelden herstellte – zigtausend Mal in minimal unterschiedlichen Varianten. Die Anforderungen an den 3D-Druck waren dabei extrem

hoch. Jeder einzelne Farbton eines Gesichtsausdrucks musste genau dem vorausgegangenen entsprechen. Cuttlefish schuf hierfür die technischen Voraussetzungen: Er unterstützt verschiedene 3D-Drucktechnologien und erlaubt es, mit vielen Materialien gleichzeitig zu arbeiten – wobei Geometrie und Farben exakt wiedergegeben werden. Auch Transluzenzen, also partiell oder komplett durchsichtige Materialien, lassen sich drucken.

»Für unsere aktuelle Produktion »Mister Link« haben wir die Technologien des Fraunhofer IGD eingesetzt, weil sie eine einzigartige Farbkonsistenz und geometrische Genauigkeit ermöglichen. Durch die Kombination der Cuttlefish-Software mit der Stratasys-J750-Hardware konnten wir die komplexesten farbigen 3D-Drucke erstellen, die je produziert wurden«, lobt Brian McLean, Laikas Director of Rapid Prototype.

Fraunhofer hilft siegen: Karbon fürs schnelle Comeback

 Was tun, wenn einer der wichtigsten Spieler verletzt ist? Der Trainer des Basketball-Teams der Michigan State University (MSU) hatte eine Idee: Als sein Key-Player Nick Ward sich die linke Hand gebrochen hatte, wandte er sich an die Ingenieurinnen und Ingenieure der Universität.

Die Forscherinnen und Forscher entwickelten eine Schiene für Ward: Zunächst wurde die verletzte Hand gescannt und daraus ein 3D-Modell errechnet. Im nächsten Schritt galt es, eine hitzebeständige Form für die Karbonfaser-Schiene herzustellen. Die Forschenden des MSU-Fraunhofer USA Center for Coatings and Diamond Technologies CCD erstellten diese Form mithilfe von 3D-Drucktechnik. Dank der Schiene konnte Ward nicht nur schnell wieder am Training teilnehmen, sondern auch das Big 10 Tournament bestreiten. Sein Team gewann.

Fraunhofer koordiniert: Sauberes Wasser für Afrika

 Mehr als 130 Millionen Menschen südlich der Sahara haben keinen Zugang zu sauberem Wasser. Im EU-Projekt »SafeWater-Africa« entwickeln afrikanische und europäische Partner ein dezentrales System zur Reinigung von Brunnen- und Flusswasser, das das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig koordiniert.

Ein erster Demonstrator befindet sich in Südafrika im Testbetrieb, ein zweiter wurde in Mosambik installiert. Durch den Einsatz von Solarzellen und Batterien sind die Anlagen unabhängig vom Netzstrom. Mit einer Kapazität von 1000 Litern

pro Stunde kann jede Anlage den Bedarf von etwa 300 Menschen decken.

Die Technologie zur elektrochemischen Wasserentkeimung wurde am Fraunhofer IST entwickelt. Mit dünnen Diamantschichten ummantelte Elektroden, an die eine niedrige Spannung angelegt wird, erzeugen in dem durchfließenden Wasser Hydroxyl-Radikale und Ozon. Diese töten Keime und bauen organische Verunreinigungen ab.

Die Desinfektionseinheit ist dabei nur eines von mehreren Modulen. Andere beseitigen Schwermetalle, Sedimente und Stickstoffverbindungen.

Fraunhofer goes China: Zusammenarbeit in Shanghai



Shanghai wächst. Die Stadt an der Mündung des Jangtse ist das ökonomische Zentrum Chinas. Führende Automobil-, Maschinen- und Stahlhersteller haben hier ihren Standort. Auch die Lingang Area, ein neuer Stadtteil, bietet ein attraktives Umfeld für Unternehmen aus aller Welt.

Fraunhofer ist hier künftig mit einem Project Center vertreten. Der Vertrag über das deutsch-chinesische »Project Center for Smart Manufacturing« wurde am 26. März unterschrieben. Ein Team vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart

entwickelt hier mit der Shanghai Jiao Tong University (SJTU) neue Verfahren zum Produktionsmanagement, zur Mensch-Maschine-Kollaboration und zur digital vernetzten Produktion. Die Bezirksregierung, die Shanghai Lingang Area Development Administration, unterstützt das Projekt.

Die Forscherinnen und Forscher haben bereits eine erste Demonstrator-Produktionslinie aufgebaut. Sie zeigt, wie die digitale Vernetzung von Maschinen hilft, die Produktion zu optimieren. Zusammen mit Anwendern aus der Industrie will das deutsch-chinesische Team die Industrie-4.0-Lösungen in die Praxis überführen.

Fraunhofer schafft hochpräzise Mini-Pumpen für die Medizin



Mit Drucktechnik kann ein deutsch-japanisches Forscherteam jetzt eine leise, leichte und preiswerte Pumpe herstellen, mit der sich Flüssigkeiten hochgenau dosieren lassen. »Die Pumpe ist nicht viel größer als ein 2-Euro-Stück – ideal für den Einsatz in der Medizintechnik, um beispielsweise Flüssigkeiten wie Insulin oder Antibiotika genau zu dosieren«, erklärt Ivica Kolaric.

Den Prototypen hat sein Team am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am Advanced Institute for Science and Technology AISP im japanischen Osaka erarbeitet. In die Entwicklung floss das Know-how beider Forschergruppen ein: Die Stuttgarter sind spezialisiert auf die Prozesstechnik, die Japaner auf die Materialentwicklung.

Kernstück der Pumpe ist eine Membran, die sich elektrisch ansteuern lässt. Sie besteht aus einem ionisch-aktiven Polymer, einem leitfähigen Kunststoff, in den ionische Flüssigkeiten eingebunden sind. Wird elektrische Spannung angelegt, verändert sich die Ionendichte und bewegt die Membran – ähnlich wie ein Muskel – durch Ausdehnen und Kontrahieren. Der 3D-Drucker benötigt nur wenige Minuten, um die Pumpengehäuse zu fertigen. Alle Bauteile bestehen aus Kunststoffen, die während des Druckprozesses in exakter Dosierung und Mischung aufgebracht werden.

Fraunhofer macht Solarzelle langlebiger und leistungsfähiger



Wie beeinflussen Defekte und Verunreinigungen im Kristall die Effizienz von Solarzellen? Wie lässt sich diese steigern? Und wie macht man Solarzellen langlebiger? Antworten suchen Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg gemeinsam mit Forscherinnen und Forschern an der Australian National University sowie der University of New South Wales.

»Wir haben viele Gemeinsamkeiten«, berichtet Dr. Martin Schubert, Leiter der Abteilung Qualitätssicherung, Charakterisierung und Simulation. »Alle Einrichtungen sind spezialisiert auf Messtechnik für die Analyse von Solarzellen, verwenden aber unterschiedliche Verfahren. Die Kombination der Verfahren soll uns jetzt helfen, unser Ziel zu erreichen.«



Dieser Schreibtisch soll Indien lebenswerter machen

Von 2030 an wird es mehr Inder geben als Chinesen - ein gigantischer Zukunftsmarkt. Für Fraunhofer arbeitet hier eine kleine Frau mit einer großen Liebe zu Deutschland: Anandi Iyer.

Text: Christine Broll

Vor dem Bildnis des spirituellen Meisters Sai Baba von Shirdi zündet Anandi Iyer jeden Morgen ein Teelicht an. Sai Baba engagierte sich für die Rechte der Frauen und der niederen Kasten. © Christof Blumberger



Indien und Deutschland begegnen sich auf dem Schreibtisch von Anandi Iyer. Von hier aus koordiniert die Leiterin von Fraunhofer India die Projekte der deutschen Institute mit den indischen Partnern.

»Vielleicht
war ich
in einem
früheren
Leben
Deutsche.
Wir Inder
glauben ja
an die
Wiedergeburt.«

Anandi Iyer

Als symbolische Opfergabe liegen vor dem Bildnis des Geistlichen zwei Münzen. Das Opfern spielt im Hinduismus eine zentrale Rolle.

Der Blick auf Indien kann ziemlich traurig machen. Dr. Marius Mohr erlebt das am Valankulam-See bei Coimbatore, einer Millionenstadt im Süden der Bundesrepublik. Vom trüben Wasser weht ein übler Geruch, am Ufer liegt Müll. Die große Geschichte des Sees? Vergangen, vorbei. Und verseucht.

Vor 1200 Jahren war der Valankulam-See Teil eines komplexen Regenwasser-Management-Systems, erbaut von den mächtigen Herrschern des Chola-Reiches, um den Wasserüberfluss des Nordostmonsuns im Oktober und November zu speichern und für die Landwirtschaft nutzbar zu machen. Zusammen mit deutschen und indischen Partnern ist Dr. Marius Mohr vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB aus Stuttgart angereist, um das historische Bewässerungssystem zu begutachten. Überall rund um Coimbatore bietet sich das gleiche Bild: Statt klarem Regenwasser füllt stinkendes Abwasser die Seen und Kanäle. Nur jeder Dritte der 1,6 Millionen Einwohner hat Zugang zum Abwassernetz. Aktuell gibt es für die gesamte Stadt nur eine einzige funktionierende Kläranlage.

Die Bestandsaufnahme der Expertengruppe läuft im Rahmen des Projekts »Smart Water Future India«, das vom deutschen Umweltministerium gefördert wird. Ziel ist es, eine nachhaltige Strategie für das Wassermanagement in Coimbatore zu entwickeln, einer der am schnellsten wachsenden Städte Indiens. Es ist nicht das einzige Fraunhofer-Projekt in der bevölkerungsreichsten Demokratie der Erde. Seit 2018 arbeitet Fraunhofer in Coimbatore auch an der Verbesserung der Verkehrssituation. Das Projekt wird vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO geleitet und von der Kreditanstalt für Wiederaufbau finanziert. An der Südküste, in der Hafenstadt Kochi, hilft Fraunhofer mit einem Smart-City-Projekt unter Leitung des IAO, die Infrastruktur zu verbessern.

Fraunhofer und Indien: Alle Fäden laufen in Bangalore zusammen, in der drittgrößten Stadt Indiens – in einem grauen Bürohochhaus im Zentrum, im Fraunhofer-Büro im vierten Stock an einem Schreibtisch, auf dem eng überkreuzt die deutsche und die indische Flagge stehen, flankiert von einem indischen Heiligenschrein. Hier arbeitet Anandi Iyer.

Die Leiterin von Fraunhofer India empfängt die Besucher in perfektem Deutsch. Ihre Deutschkenntnisse hat sie in Kursen am Goethe-Institut in Delhi erworben, nach Bestehen des Großen Deutschen Sprachdiploms hat sie Goethe und Schiller gelesen. »Ich habe eine große Vorliebe für Deutschland, für die Ordnung, für die Menschen«, sagt sie. Und sie fügt mit einem Augenzwinkern hinzu: »Vielleicht war ich in einem früheren Leben Deutsche. Wir Inder glauben ja an die Wiedergeburt.«



1 500 000 000
Einwohner
soll Indien
2030 haben -
und China als
bevölkerungs-
reichstes
Land der
Erde ablösen

► **Die Affinität zu Deutschland** macht es ihr auch leichter, in der täglichen Arbeit den Spagat zwischen der indischen und der deutschen Mentalität zu schaffen. Das ist nicht immer einfach, vor allem wenn es um Planung und Organisation geht. Zum Beispiel bei Delegationsreisen. Die deutschen Partner möchten am liebsten schon sechs Monate vorher wissen, wer kommt. Die Inder entscheiden aber frühestens eine Woche vor Abflug, wer mitreisen möchte.

Ihre Deutschkenntnisse hat Anandi Iyer während ihres Berufslebens weiter ausgebaut. Zuerst bei der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ in Delhi. Später im Rahmen eines Projekts des deutschen Wirtschaftsministeriums, bei dem sie deutsche mittelständische Firmen unterstützte, sich in Indien zu etablieren. Hier begegnete sie zum ersten Mal der Fraunhofer-Gesellschaft. Genauer gesagt einer Delegation, die evaluierte, ob sich Fraunhofer in Indien engagieren sollte.

Anandi Iyer erinnert sich noch genau an das Treffen. »Ich wurde damals gefragt, ob es sich Fraunhofer leisten kann, nach Indien zu gehen. Ich antwortete mit einer Gegenfrage: Kann es sich Fraunhofer leisten, nicht nach Indien zu gehen?« Denn mit einer Bevölkerung von 1,3 Milliarden Menschen hat der indische Markt gigantische Dimensionen. Und Indien wächst weiter. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen wird Indien China überholen und 2030 mit 1,5 Milliarden Einwohnern das bevölkerungsreichste Land der Erde sein.

Im Jahr 2008 stand der Entschluss: Fraunhofer engagiert sich in Indien. Und Anandi Iyer bekam den Auftrag, hier ein Büro aufzubauen. »Vor zehn Jahren kannte kaum einer in Indien Fraunhofer«, erinnert sich Iyer. »Da es bisher keine Auftragsforschung gab, standen wir vor der Frage, ob die indische Industrie überhaupt bereit wäre, für Forschungsleistungen zu bezahlen.«

Schritt für Schritt machte Iyer Fraunhofer bekannt. Ging zu Unternehmen, Behörden und Ministerien. Organisierte Delegationsreisen und Technologie-Workshops. Bis heute haben über 50 Fraunhofer-Institute an den verschiedensten Projekten in Indien mitgewirkt. Das Büro, in dem Anandi Iyer von vier Managern unterstützt wird, erwirtschaftet ein Auftragsvolumen von knapp viereinhalb Millionen Euro pro Jahr. 70 Prozent davon kommen aus der indischen Industrie, etwa 30 Prozent aus Fördermitteln von Indien und Deutschland. Mittlerweile ist Fraunhofer in Indien so populär, dass 2016 die Unterzeichnung eines »Memorandum of Understanding« mit dem indischen Produktionsministerium sogar im Beisein des indischen Premierministers Narendra Modi und der deutschen Bundeskanzlerin stattfand – und Anandi Iyer im Anschluss daran zum Abendessen mit Angela Merkel eingeladen wurde.

Mehr Lebensqualität für Indiens Städte

Einen Fokus legt Iyer auf sogenannte Smart-City-Projekte, die indische Städte wieder lebenswert machen sollen. Heute erstickt die Metropolen im chaotischen Verkehr, leiden unter Mangel an sauberem Trinkwasser, ertrinken im Abwasser, weil die Entsorgung nicht funktioniert. Um diesen Problemen zu begegnen, initiierte die indische Regierung die »Smart Cities Mission«, die hundert indische Städte in ihrer Entwicklung unterstützt. Deutschland fördert drei dieser Städte: Bhubaneswar, Kochi und Coimbatore.



Indien soll sauber werden. Auf Schildern appellieren die indischen Behörden an die Bevölkerung und nutzen dazu die symbolträchtige Brille von Mahatma Gandhi.
 © Christof Blumberger



Begleitet von einem ohrenbetäubenden Hupkonzert schieben sich Mopeds, Motorrikschas und Lastwagen durch Indiens Städte. © Christof Blumberger



Müll und Abwasser belasten die indischen Gewässer, so wie hier in Mumbai.

Coimbatore, das rund 350 Kilometer südlich von Bangalore liegt, lernt Dr. Marius Mohr vom Fraunhofer IGB im März 2018 kennen. Zusammen mit den Projektpartnern Dr. Stefan Liehr vom Institut für sozialökologische Forschung in Frankfurt am Main und Alyssa Weskamp vom Beratungsunternehmen Drees & Sommer reist er an, um die Gesamtsituation der Stadt zu analysieren. Vor Ort unterstützt Aditya Fuke vom Fraunhofer-Büro in Bangalore das Team, indem er die Kontakte knüpft und Daten bereitstellt.

Als Mohr das Büro der Stadtverwaltung von Coimbatore zum ersten Mal betritt, wird ihm klar, warum er hier niemanden per E-Mail erreicht hat. »Auf den Schreibtischen standen weder Laptops noch Monitore. Stattdessen türmten sich die Akten.«

Erste Ideen, um die Abwasserprobleme zu lösen, stellt das Projektteam im Juli vergangenen Jahres bei einem Workshop in Coimbatore vor. Eine Möglichkeit sind semi-dezentrale, modular aufgebaute Kläranlagen, die mit der Bevölkerungsentwicklung mitwachsen. Nachhaltige Lösungen soll ein »Water Innovation Hub« erarbeiten, der unter der Regie von Fraunhofer India in Coimbatore eingerichtet wird. Dort können deutsche Firmen Pilotanlagen aufbauen und so ihre Kompetenzen für den indischen Markt demonstrieren.

Das Fraunhofer-Engagement in Indien weckt auch international Interesse und Anerkennung. Beim World CSR Congress in Mumbai, wo es um die soziale Verantwortung von Unternehmen (Corporate Social Responsibility = CSR) geht, wurde Anandi Iyer im Februar mit dem »Global Top 51 Smart City Leaders Award« ausgezeichnet. Ein weiterer Baustein, der zum guten Renommee von Fraunhofer in Indien beiträgt.

Selbstverständlich ist es im männerdominierten Indien nicht, dass eine Frau so erfolgreich ist. »Die indischen Männer sind beim ersten Treffen oft erstaunt, dass ich diese Position innehab«, erklärt die zweifache Mutter. Kraft und Inspiration für ihre Arbeit schöpft sie auch aus dem Hinduismus. Das Heiligenbild auf ihrem Schreibtisch zeigt den spirituellen Meister Sai Baba von Shirdi. Sie hat es mit einem Blumenkranz geschmückt und zündet jeden Morgen ein Teelicht davor an. »Sai Baba setzte sich für die Menschlichkeit ein, für die Versöhnung von Muslimen und Hindus, für die Rechte der Frauen und die niederen Kasten«, begründet Anandi Iyer ihre Verehrung für den 1918 verstorbenen Geistlichen, der für sie ein Vorbild ist.

Türöffner für die deutsche Industrie

In der Kooperation zwischen Indien und Deutschland sieht Anandi Iyer ein großes Synergiepotenzial für die Zukunft. Und versteht Fraunhofer India auch auf diesem Gebiet als Türöffner für die deutsche Industrie. Besonders im Bereich Industrie 4.0 bietet sich die Zusammenarbeit an. Deutschland sei führend in der Produktionstechnologie. Indien habe eine hohe Kompetenz im IT-Bereich. Ein weiteres Feld sei die Sonnenenergie, die in Indien zurzeit massiv gefördert wird.

»Wir können die Technologien aber nicht eins zu eins übernehmen«, warnt Anandi Iyer. Denn in Indien ist vieles anders – die Infrastruktur, das Klima. Vor allem aber die Dimensionen. Diese Erfahrung hat auch Dr. Marius Mohr bei der Suche nach Lösungen für das Abwasserproblem in Coimbatore gemacht. »Die Bevölkerung der Stadt soll in den nächsten 30 Jahren um eine weitere Million Menschen wachsen«, sagt Mohr. »Das ist eine riesige Herausforderung und übersteigt die Dimensionen, mit denen wir in Deutschland arbeiten. Wir brauchen für Indien angepasste Technologien. Nur so kann es gelingen, die Wasserqualität der Seen und Flüsse nachhaltig zu verbessern.« ■

»Ich wurde gefragt, ob es sich Fraunhofer leisten kann, nach Indien zu gehen. Ich antwortete: Kann es sich Fraunhofer leisten, nicht nach Indien zu gehen?«

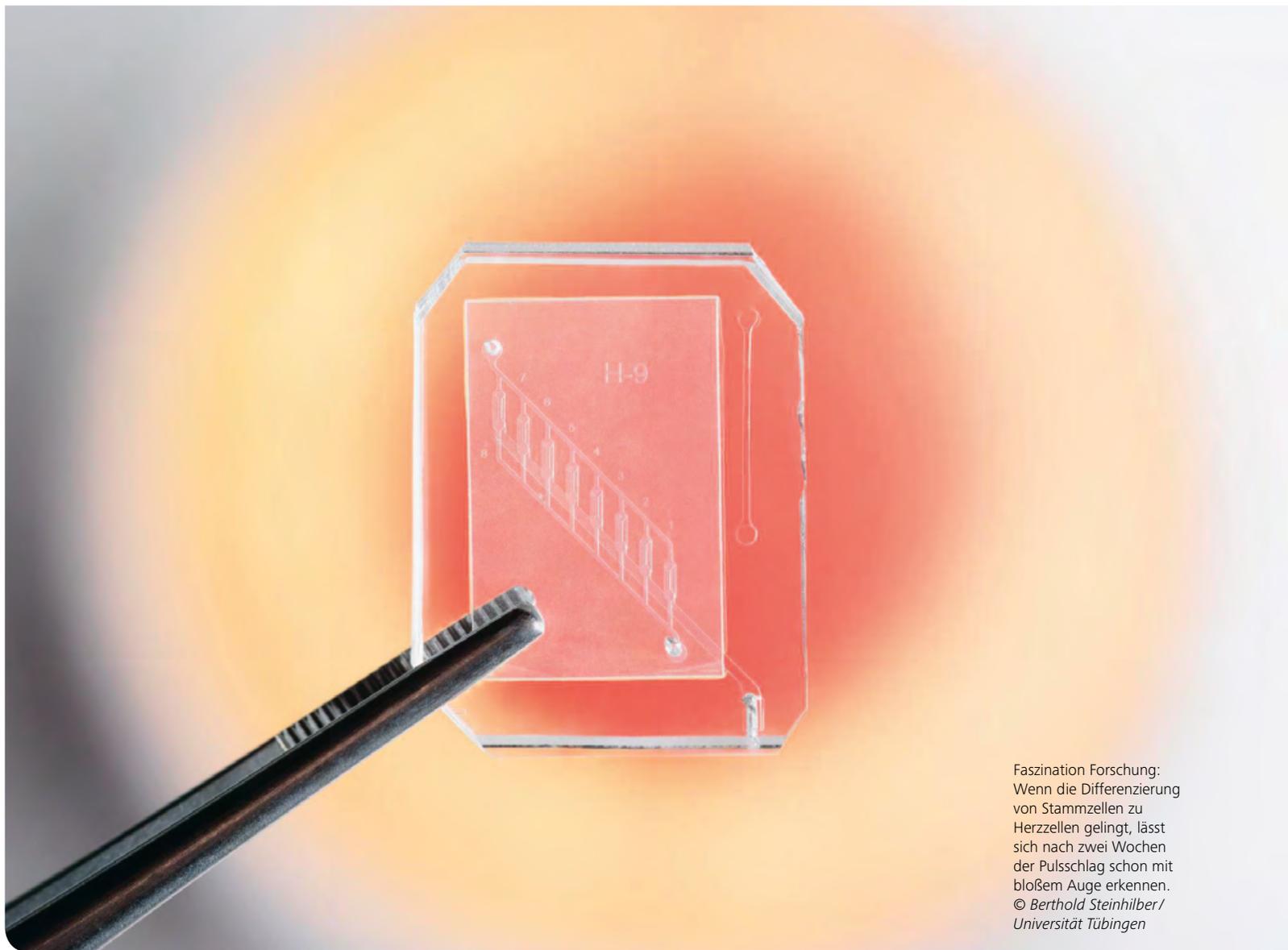
Anandi Iyer



Anandi Iyer pflegt die Kontakte in die Politik, zum Beispiel zur deutschen Umweltministerin Svenja Schulze. © Fraunhofer India



Mit dem indischen Premierminister Narendra Modi spricht sie bei einem Empfang der indischen Botschaft in Berlin. © Andreas Amann



Faszination Forschung:
Wenn die Differenzierung
von Stammzellen zu
Herzzellen gelingt, lässt
sich nach zwei Wochen
der Pulsschlag schon mit
bloßem Auge erkennen.
© Berthold Steinhilber /
Universität Tübingen

Wenn das Plättchen im Herzschlag pulsieret

Es gibt eben mehr als nur kleine Unterschiede: Jetzt führt Organ-on-a-Chip-Technik Arzneimittel-Forschung in die Zukunft einer geschlechterspezifischen Medizin.

Text: Christine Broll

Es wirkt wie eine Schöpfung, und doch ist es sein Arbeitsalltag. Eben hat Dr. Christopher Probst eine Schale mit Zellkulturen aus dem Brutschrank geholt. Vorsichtig schiebt er sie unters Mikroskop. Durchs Okular beobachtet er, wie das dünne Gewebe aus transparenten Zellen pulsiert. Ganz offensichtlich: Die Differenzierung von Stammzellen zu Herzmuskelzellen ist gelungen. »Wenn die Zellen zwei Wochen alt sind«, erklärt Probst, »kann man schon mit bloßem Auge sehen, wie sich die ganze Platte im Pulsschlag bewegt.«

Dr. Probst ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Attract-Arbeitsgruppe von Prof. Peter Loskill am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Mit ihren Forschungen kann die Arbeitsgruppe dazu beitragen, die Zahl der Tierversuche deutlich zu verringern **(s. Interview rechts)**.

Die Herzmuskelzellen dienen dem Doktoranden Oliver Schneider zum Bau von Organ-on-a-Chip: briefmarkenkleinen Polymermodulen, in deren Innerem winzige Gewebe und Organoid über Mikrokanäle von einer Nährflüssigkeit am Leben gehalten werden. In dieser Technik, die schon 2016 vom »World Economic Forum« zu den »Top Emerging Technologies« gezählt wurde, gibt es mittlerweile eine breite Palette: Herzmuskel und Leber, Niere und sogar Hirngewebe. Die Arbeitsgruppe von Prof. Loskill am Fraunhofer IGB gehört zu den Organ-on-a-Chip-Pionieren in Europa. Dem Team ist es unter anderem als bisher einzigem gelungen, menschliches Fettgewebe und die Netzhaut des Auges in einem Chip nachzubilden.

Loskill arbeitet für ein ehrgeiziges Ziel. In den USA hat er seit 2013 an der Entwicklung der Organ-on-a-Chip-Technologie mitgewirkt. Zu der Zeit startete in den USA gerade ein riesiges Förderprogramm dafür. Verschiedene Forschungsorganisationen und Behörden hatten sich dafür zusammengetan. Mit unterschiedlichen Zielen. Die Arzneimittelbehörde FDA wollte die Medikamentenentwicklung beschleunigen, dem Verteidigungsministerium ging es um Tests für chemische und biologische Kampfstoffe, während die Umweltschutzbehörde EPA Interesse an der Untersuchung von Umweltgiften hatte. Hunderte von Millionen Dollar Fördermittel haben die US-Forscherinnen und -Forscher an die Spitze gebracht. Noch ist Europa abgeschlagen. Loskill will die Kompetenzen in Europa bündeln. Gemeinsam mit drei niederländischen Kollegen hat er im November 2018 die »European Organ-on-Chip Society« gegründet und in Stuttgart bereits eine Konferenz organisiert. Auch bei der EU gelang es, Fördergelder zu gewinnen. Zum einen für ein Marie-Curie-Projekt mit 21 europäischen Partnern. Zum andern für den Entwurf einer Organ-on-a-Chip-Roadmap für Europa.

Die Kooperation der europäischen Forschungsgruppen wird helfen, der Technologie den Weg in die breite Anwendung



»Viele Krankheiten zeigen bei Frauen und Männern eine unterschiedliche Ausprägung«, sagt Prof. Peter Loskill. Seine Forschung soll einer geschlechterspezifischen Medizin dienen. © Bernd Müller/Fraunhofer IGB

zu ebnen. Nachdem es gelungen ist, die verschiedensten Gewebe auf Chips zu bringen, gilt es nun, den Durchsatz der zu testenden Substanzen zu erhöhen. Der Doktorand Stefan Schneider hat im Labor von Peter Loskill mit der Skalierung bereits begonnen. Die Zukunft ist Organ-on-a-Disc – mit Hunderten menschlichen Gewebeteilchen auf einer handlichen Scheibe. Sie können der Technologie zum Durchbruch im Routineeinsatz verhelfen.

Jetzt soll der Chip das Sehen lehren

Aktuell ist »Retina-on-a-Chip« das absolute Highlight in Loskills Labor – mit dem komplex aufgebauten Gewebe der menschlichen Netzhaut als Organoid. Das Team um die Doktorandin Johanna Chuchuy und Peter Loskill ist gerade dabei, der Retina auf dem Chip das Sehen beizubringen. Gemeinsam mit ihren Kooperationspartnern an der Universität Tübingen ist es ihnen bereits gelungen, Stammzellen so zu differenzieren und in die Chips zu integrieren, dass sie ein mehrschichtiges Gewebe ausbilden. Es besteht unter anderem aus den lichtempfindlichen Stäbchen und Zapfen, dem Pigmentepithel und Ganglionzellen, die den optischen Nerv bilden. »Wenn wir die Retina belichten, messen wir in den Stäbchen und Zapfen ein elektrophysiologisches Signal«, erklärt Peter Loskill. »Jetzt arbeiten wir an einem System, mit dem wir dieses Signal quantitativ auslesen können.«

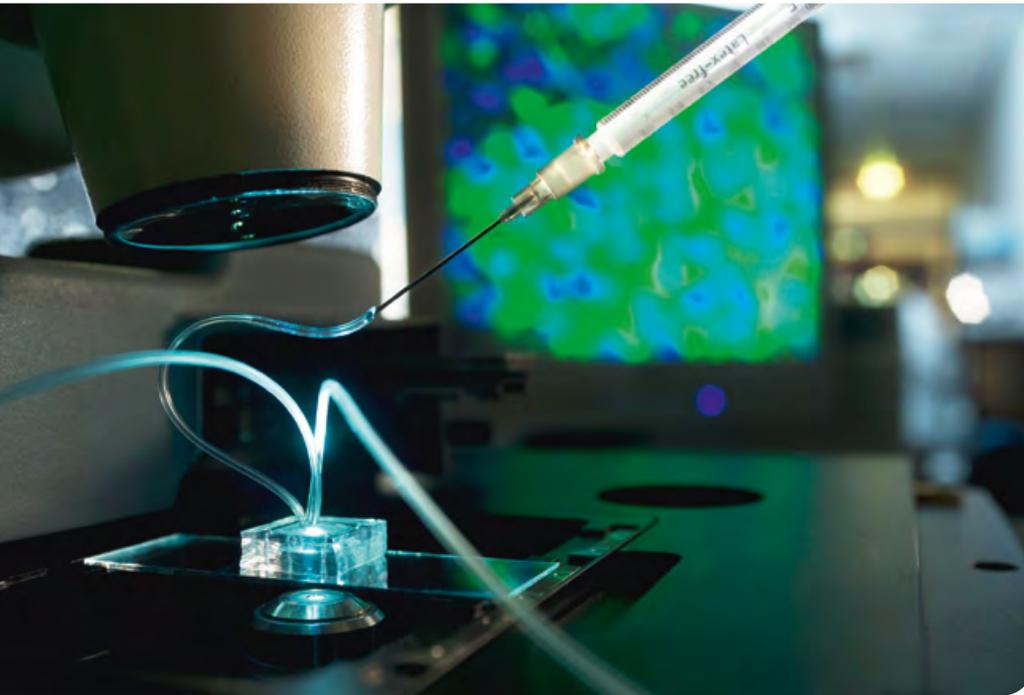
Sobald dies existiert, wird gemessen werden können, wie stark eine Substanz das »Sehvermögen« der Retina auf dem Chip beeinflusst. »Die Pharmaindustrie hat großes Interesse an der Retina-on-a-Chip«, verdeutlicht Loskill. »Denn viele Arzneistoffe können Nebenwirkungen an der Retina verursachen.« Modellsysteme sind bislang rar. Und Tiermodelle sind nur begrenzt einsetzbar, da die Netzhaut von Tieren anders aufgebaut ist als die des Menschen. Gleichzeitig ist der Chip dazu geeignet, Erkrankungen der Netzhaut zu erforschen und Medikamente zu entwickeln, zum Beispiel gegen die altersbedingte Makuladegeneration oder gegen die diabetische Retinopathie. ▶

»Signifikant weniger Versuchstiere«

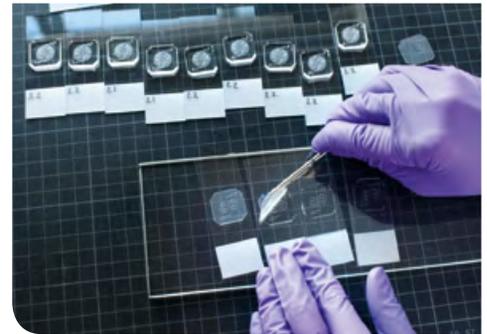
Prof. Loskill, wird sich durch Organ-on-a-Chip die Masse der Tierversuche verringern lassen? Ganz sicher. Wir stellen bereits jetzt fest, wie groß das Interesse der Pharmaindustrie ist. Die Chips können in allen Bereichen eingesetzt werden – vom Screening neuer Wirkstoffe über Toxizitätstests bis zur Begleitung klinischer Studien.

Werden die Zulassungsbehörden Organ-on-a-Chip-Daten als Ersatz für Tierversuche akzeptieren? Auch sie stehen der Technologie sehr aufgeschlossen gegenüber. Ich arbeite in zwei EU-Projekten mit regulatorischen Behörden zusammen, unter anderem mit dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte BfArM.

Wird die Technologie Tierversuche langfristig komplett überflüssig machen? Man wird Tierversuche nicht eins zu eins ersetzen können. Mit den Chips ist aber eine Datenquelle dazugekommen, die es ermöglichen wird, mit signifikant weniger Versuchstieren Sicherheit zu schaffen.



Ein Fett-Chip unter dem Mikroskop: Über die Spritze wird ein Wirkstoff eingebracht, um das Verhalten und die Reaktion zu untersuchen. © Bernd Müller/Fraunhofer IGB



Der Aufbau von Fett-Chips am Fraunhofer IGB in Stuttgart. © Berthold Steinhilber/Universität Tübingen (oben), Bernd Müller/Fraunhofer IGB (unten)

Jedes vierte Kilo beim gesunden Menschen ist Fett – und wir fangen erst an zu verstehen, wie es im Körper arbeitet

► **Medizinisch noch relevanter** sind die Chips mit weißem Fettgewebe. Angelehnt an die englische Bezeichnung »White Adipose Tissue« werden die Systeme »WAT-on-a-Chip« genannt. Das Fettgewebe ist allein schon seiner Masse wegen bedeutsam. Ein Viertel des Körpers eines gesunden Menschen besteht aus Fettgewebe. Bei adipösen Menschen macht es bis zur Hälfte des Gewichts aus. Erst in jüngerer Zeit wurde deutlich, dass das Fettgewebe viele Hormone und andere Botenstoffe in den Blutkreislauf ausschüttet. Vieles ist hier noch unverstanden. Die »WAT-on-a-Chip«-Systeme können helfen, die Rolle des Fettgewebes im Körper besser zu verstehen und damit verbundene Erkrankungen, wie zum Beispiel Diabetes, gezielter zu therapieren.

Außerdem lässt sich auf dem Chip verfolgen, wie Stoffe in die Fettzellen eingelagert werden. Um das zu demonstrieren, verwendet die Doktorandin Julia Rogal eine mit einem grünen Fluoreszenzfarbstoff markierte Fettsäure. Sie spritzt diese Fettsäure in den Chip und legt ihn unter das Mikroskop. Schon nach wenigen Minuten ist zu sehen, wie der Farbstoff in die runde Fettzelle wandert und sich dort einlagert. Mit ähnlichen Methoden lässt sich untersuchen, ob sich Pflanzenschutzmittel oder auch Mikroplastik im Fettgewebe anreichern.

Mit den Organ-on-a-Chip-Systemen will Peter Loskill ein weiteres Forschungsfeld erschließen: geschlechtsspezifische

Medizin. »Viele Krankheiten zeigen bei Frauen und Männern eine unterschiedliche Ausprägung«, betont er. »Dieser Aspekt wird in der medizinischen Forschung und Arzneimittelentwicklung viel zu wenig berücksichtigt.« Die Organs-on-a-Chip bieten die Möglichkeit, Gewebe von Männern und Frauen getrennt zu untersuchen. Auf dem Chip kann man auch die Dynamik des weiblichen Hormonzyklus simulieren und beobachten, welchen Einfluss er auf eine Erkrankung und potenzielle Medikamente hat. Diese Arbeiten laufen im Rahmen seiner Juniorprofessur am Institut für Frauengesundheit der Universität Tübingen. Dort generiert er auch Chips mit dem Gewebe von Brust- und Gebärmutterhalstumoren.

Zusätzliche Impulse bringt die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe um Dr. Frank Sonntag am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. Dort hat man sich auf Mikrofluidik spezialisiert und einen Multiorgan-Chip entwickelt, der das Zusammenspiel von Blutkreislauf und Organen im menschlichen Körper simuliert. Durch Pumpen und Ventile wird mittels einer intelligenten Steuerung der unterschiedlich starke Blutfluss zu den verschiedenen Organen nachgebildet. Im vergangenen Oktober wurde der Multiorgan-Chip des IWS mit dem »Innovation Award« der »European Association of Research and Technology Organisations« in Brüssel ausgezeichnet. Beide Fraunhofer-Forscherguppen haben bereits ein gemeinsames Patent eingereicht, um ihre Systeme miteinander zu kombinieren. ■

Das Supernetz

Großinitiative für Quantenkommunikation: Deutsche Forschungsorganisationen arbeiten zusammen an einer Infrastruktur, um Nachrichten künftig abhörsicher zu übertragen.

Text: Mandy Bartel

Quantenobjekte haben eine sehr spezielle Eigenschaft: Sie geben nie die gesamte Information preis, die in ihnen steckt. Eine Messung würde das Quantenobjekt im selben Moment verändern und der ursprüngliche Zustand ließe sich nicht mehr erfassen. Welche Momentaufnahme der unzähligen möglichen und sich überlagernden Quantenzustände gemessen wird, bleibt allein dem Quantenzufall überlassen.

Heute nutzen Forscherinnen und Forscher von Fraunhofer, Max-Planck und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR dieses Prinzip, um im Projekt QuNET ein hochsicheres Kommunikationsnetzwerk zu entwickeln – auf Basis von Quantenverschlüsselung. Der Vorteil dieser Quantentechnologie: Jeder unerwünschte Mithörer verändert durch sein Eingreifen den Quantenzustand des Codes und würde somit unmittelbar entdeckt.

Das Ziel: Datensouveränität für ganz Europa

Die Großoffensive für die Quantenkommunikation verkündeten die Forschungsorganisationen im Mai zusammen mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF. Primäres Ziel von QuNET ist es, Technologien zu entwickeln, um eine abhörsichere Kommunikation zwischen Regierungsorganisationen zu ermöglichen. Doch das Vorhaben soll auch den Grundstein für den Aufbau einer deutschen Quantenkommunikationsinfrastruktur bilden.

Langfristiges Ziel auf europäischer Ebene ist es laut Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer, das Quantennetz mit den International Data Spaces zu verbinden und damit Datensouveränität und Datensicherheit auch im europäischen Raum auf höchstem Niveau zu vereinen. Die ebenfalls von Fraunhofer ins Leben gerufene International-Data-Spaces-Initiative ermöglicht offene Datenmarktplätze für die Wirtschaft, auf denen Daten zwischen vertrauenswürdigen Partnern sicher getauscht werden.

Zudem wird QuNET wegweisend für den Aufbau eines Quanteninternets sein, über das künftig auch Quantencomputer Informationen in Form von Qubits austauschen können. Da

sich Quanteninformationen jedoch nicht kopieren lassen, ist es nicht möglich, sie wie in einem klassischen Netzwerk zu übertragen. Vielmehr muss der Quantenzustand von einem zum anderen Knoten transferiert werden. Um längere Strecken zu überbrücken, kann die Übertragung von einem Satelliten aus erfolgen oder mithilfe von Quantenrepeatern über das Glasfasernetz am Boden.

Initiiert ist QuNET vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena und wird als Konsortialvorhaben auch federführend von diesem geleitet. Weitere Partner sind das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut HHI in Berlin, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie das Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts. Um einen schnellen Transfer der entwickelten Lösungen in die Praxis sicherzustellen, sind auch Industriepartner aus den Bereichen Telekommunikation, System- und Komponentenentwicklung, Sicherheit und Satellitenbetrieb involviert.

Das Vorhaben startet offiziell im Herbst und umfasst drei Phasen: In den nächsten zwei Jahren wollen die Partner zunächst die Hardwarekomponenten entwickeln und im zweiten Schritt die technologischen Grundlagen für einen Mehrbenutzerbetrieb in heterogenen Netzwerken schaffen. In der dritten Phase soll dann mit Industrie und Bundesnetzbetreibern die notwendige Skalierung und produktnahe Entwicklung vorangebracht werden, um den Grundstein für ein quantenbasiertes Behördenetzwerk aufzubauen. ■

Für Deutschland und Europa soll QuNET den Grundstein für eine abhörsichere Kommunikationsinfrastruktur legen.



Faszination Quantenkommunikation: Jeder Eingriff lässt sich sofort nachvollziehen. © action press

Querdenken hat sie ans Ziel gebracht

Zahnersatz sofort im Behandlungsstuhl? Dr. Bernhard Durschang und Dr. Jörn Probst vom Fraunhofer ISC haben die Lösung gefunden – mit einem Material, dem kaum jemand das Potenzial zugetraut hätte. Dafür erhalten sie den Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen«.

Texte Fraunhofer-Preise: Janine van Ackeren

Chairside ist, was Zahnarzt und Patient gemeinsam wollen: Zahnersatz farbecht, individuell angepasst und sofort im Behandlungsstuhl. Dr. Bernhard Durschang und Dr. Jörn Probst vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg haben eine Lösung gefunden – und das mit Glaskeramik, einem Material, das technisch als ausgereizt galt.

Gemeinsam mit den Unternehmen VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG und DeguDent GmbH haben sie das Material für die Zahnmedizin in die Zukunft getragen. »Unsere Glaskeramik bietet gleich mehrere Vorteile: Zum einen ist sie mit 450 bis 500 Megapascal deutlich fester und robuster als herkömmliche Glaskeramiken, die nur auf rund 350 Megapascal kommen«, sagt Probst. »Zudem kann das Nachhärten im Ofen entfallen. Und: Die Glaskeramik weist in allen verschiedenen Farbnuancen eine hervorragende Optik auf, die sich im Laufe der Verarbeitung auch nicht mehr ändert. Der Zahnersatz kann somit optimal entsprechend der Zahnfarbe der Patientin oder des Patienten ausgewählt werden.«

Um diese Verbesserungen zu verwirklichen, haben die beiden Wissenschaftler mit einer Lehrbuchmeinung gebrochen. Glaskeramiken bestehen aus einem amorphen Glasanteil, in dem die Atome wie in einer Flüssigkeit angeordnet sind. Darin bilden sich einzelne Kristalle aus, in denen die Atome zueinander präzise positioniert sind: Sie verleihen dem Material gänzlich andere Eigenschaften – etwa die erhöhte Festigkeit. Bisher versuchten Forscherinnen und Forscher daher, die Kristallart zu variieren oder den Anteil der kristallinen Phase möglichst weit nach oben zu treiben. Die amorphe Glasphase war lediglich ein unliebsamer Rest.

»Wir haben stattdessen an den Eigenschaften der Glasphase gedreht – und dabei Erstaunliches erreicht«, erläutert Bernhard Durschang, der seit 1996 am Fraunhofer ISC Gläser und Glaskeramiken entwickelt. »Mischt man dem amorphen Anteil verschiedene Metalloxide zu, steigt dessen Festigkeit. Somit wandelt sich der amorphe Anteil von einem unliebsamen Restglas, das man loswerden will, zu einem nützlichen Anteil, der die Gesamtfestigkeit sogar noch weiter steigert.« Auch die Farbe des

Materials variierten die beiden Forscher über die Modifikation der Glasphase.

Zwar war die Materialentwicklung die größte Herausforderung, doch umschloss das Projekt weit mehr: Es reichte von der ersten Lösungs-idee bis zur CI-zertifizierten Produktionsanlage. »Der Industriekunde erhält alles aus einer Hand – das ist schon einzigartig«, sagt Durschang. Mittlerweile ist die neuartige Glaskeramik bei vielen Zahnärzten im Einsatz. Der Jahresumsatz mit diesem Material liegt bei den beiden Partnerfirmen bereits im zweistelligen Millionenbereich – es werden für die kommenden Jahre jährliche Wachstumsraten von rund 20 Prozent erwartet.

Für die Entwicklung der hochfesten Keramik für die moderne dentale Chairside-Versorgung erhalten Dr. Bernhard Durschang und Dr. Jörn Probst den Fraunhofer-Preis in der Kategorie »Technik für den Menschen«. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit der »multikriteriellen Entwicklung unter Einbezug von medizinischen Parametern und einer effizienten Fertigungstechnologie«. ■



Im glühenden Tiegel befindet sich die glasbildende Schmelze – das Ausgangsmaterial für den Zahnersatz.



Diese Glasschmelze wird in Graphitformen gegossen und abgekühlt.



Ein geformter Glasblock, wie ihn die Forscher für die Charakterisierung des Materials verwenden.

Der neue Zahnersatz ist mit bis zu 500 Megapascal robuster als bisherige Glaskeramiken.

Das zeitaufwendige Nachhärten im Ofen kann entfallen.

Die Farbnuancen verändern sich bei der Verarbeitung nicht mehr.

Dr. Bernhard Durschang
(links) und Dr. Jörn Probst
vom Fraunhofer ISC.
© Alle Fotos Fraunhofer-
Preise: Piotr Banczerowski

Infrastruktur für schnelles Internet – planbar in wenigen Tagen



Prof. Alexander Reiterer wirft einen Blick in den Laserscanner, der die Umgebung vermessen kann.

Ganz Deutschland soll Zugriff auf Gigabit-Netze haben. Allein um die Trassen zu finden, fehlen den Telekommunikations-Unternehmen mehr als tausend Mitarbeiter. Das Fraunhofer IPM liefert die Lösung – mit 3D-Daten und Machine-Learning.

Das Internet muss schneller werden. Das ist erklärtes Ziel der Bundesregierung. Bis Ende 2025 soll ganz Deutschland Zugriff auf Gigabit-Netze haben – die allerdings nur über Glasfaser-Kabel zu realisieren sind. Doch wo verlegt man diese am besten? Diese Frage war bislang kaum zu beantworten. Schließlich gibt es unzählige Parameter. Verletzt man Bäume durch die Tiefbauarbeiten? Wird teurer Bodenbelag wie Pflaster durchquert? Bisher begehen Mitarbeitende des Telekommunikationsunternehmens jede Straße, machen Fotos, nehmen Maße und werten diese manuell aus. Für ein flächendeckendes Glasfasernetz wären mehr als tausend neue Mitarbeitende nötig – die auf dem Arbeitsmarkt kaum zu finden sind. Prof. Alexander Reiterer, Dominik Störk und Dr. Katharina Wäschle vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg liefern eine Lösung – und erhalten dafür den Joseph-von-Fraunhofer-Preis. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit der »gesamtgemeinschaftlichen Wirkung, der Sichtbarkeit und Öffentlichkeitswirksamkeit des Verfahrens«.

Deutschland soll schnelles Internet bekommen. Fraunhofer-Daten machen die Trassen-Planung 70-mal schneller

Eine Technik für die Praxis

»Wir haben eine einzigartige Prozesskette entwickelt: Sie kann zwei- und dreidimensionale Daten vollautomatisiert auswerten, die entsprechenden anwendungsspezifischen Objekte erkennen und in digitale Planungskarten einbinden«, erläutert Prof. Alexander Reiterer, der die Entwicklung am Fraunhofer IPM verantwortet. »Dieses Tool kann überall dort eingesetzt werden, wo die Erdoberfläche und die Texturen, etwa die Art der Pflasterung, aber auch Objekte wie Straßenleuchten, komplett und zentimetergenau identifiziert werden müssen.«

Für die Deutsche Telekom, die als erstes Unternehmen auf die neue Prozesskette setzt, heißt das: Dauerte es bisher mehrere Wochen, den Glasfaserausbau für eine Kleinstadt zu planen, so geht das nun innerhalb weniger Tage. »Erste Tests zeigen: Mit der Datengrundlage aus unserem Tool kann die Deutsche Telekom den gesamten Planungsprozess bis zu 70-mal schneller durchführen – und dies vollautomatisiert«, ergänzt Dominik Störk, Informatiker am Fraunhofer IPM.

Das »Futter« des Prozesses bilden zentimetergenaue Daten, die von Messfahrzeugen mit Kameras, Laserscannern und Systemen für die räumliche Verortung aufgenommen werden. Über Machine-Learning-Verfahren erkennt das System automatisch, ob es sich bei einem Objekt um einen Laub- oder Nadelbaum handelt. Die große Herausforderung lag darin, die Datenbasis für das Training aufzubauen. »Wenn ein Mensch ein Bild anschaut, dann bringt er sein Wissen über die Welt mit – er weiß also, ob er ein Werbeplakat mit einem darauf abgebildeten Auto sieht oder ein Fahrzeug. Ein neuronales Netz, das die Welt nur aus Bildausschnitten kennt, kann das nicht wissen«, erklärt Dr. Katharina Wäschle, Wissenschaftlerin am Fraunhofer IPM. Aus fast zwei Millionen Messbildern wurden rund 100 000 repräsentative Aufnahmen ausgewählt und manuell von 50 Mitarbeitenden über 12 Monate ausgewertet: 30 Objektklassen wurden dabei annotiert. Der Datensatz ist weltweit hinsichtlich Diversität – etwa Witterungen – und Qualität einzigartig.

Ein Fraunhofer-Tool für die Zukunft

Mehr als 1800 Tiefbauunternehmen in Deutschland werden solche Daten, geschaffen durch das Fraunhofer-Tool, zukünftig für den Ausbau des Glasfasernetzes nutzen. Das Bauunternehmen Strabag überwacht Baustellen auf Autobahnen und Straßen mit einem Drohnensystem und wird zukünftig für die Auswertung auf die Fraunhofer-Technologie setzen. Die Bundesanstalt für Straßenwesen BASt nutzt sie in einem Pilotprojekt, um ihre Kartierung von Straßenmöbeln aktuell zu halten. Und auch die Deutsche Telekom hat noch weitere Anwendungsfelder für intelligente Algorithmen: allen voran der Ausbau von Wireless-to-the-Home WTH und 5G. ■

Wie Analyse Ressourcen schont

Die Herstellung von Chemikalien verbraucht extrem viel Energie. Dr. Michael Bortz und Prof. Karl-Heinz Küfer vom Fraunhofer ITWM haben ein hybrides Analysetool für chemische Prozesse entwickelt, mit dem sich Energie im zweistelligen Prozentbereich einsparen lässt. Dafür gibt es den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Kunststoffe, Waschmittel, Düngemittel haben eines gemeinsam: Sie werden aus Grundchemikalien hergestellt, die die chemische Industrie in Massen produziert. Dafür ist extrem viel Energie nötig: Die Chemikalienherstellung ist für 20 Prozent des gesamten gewerblichen Energiebedarfs in Europa verantwortlich. Wenn es gelingt, den Energieverbrauch zu senken, schont das die Umwelt – und die Budgets der Unternehmen. Ausprobieren, also klassisches Trial & Error, scheidet aus. Schließlich produzieren die riesigen Anlagen mehrere Tonnen Chemikalien pro Tag. Dreht ein Ingenieur also am falschen Regler, um die Prozesse energiesparender zu machen, erfüllt das Produkt möglicherweise nicht mehr die Qualitätsvorgaben. Es ist unverkäuflich geworden.

Signifikant einsparen

Ein Modell, das die komplexen Prozesse umfassend beschreibt, hat das Team um Dr. Michael Bortz und Prof. Karl-Heinz Küfer vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern entwickelt. »Unsere Algorithmen bilden die Prozesse realitätsnah ab, wir können die Produktionsvorgänge daher über den kompletten Lifecycle hinweg beschreiben«, erläutert Bortz, Physiker und Abteilungsleiter am Fraunhofer ITWM. »Bei einer bestehenden Produktionsanlage konnten wir damit bereits zehn Prozent der Energie einsparen.« Der Chemiekonzern BASF sowie das schweizerische Chemie- und Pharmaunternehmen Lonza Group setzen die Software bereits ein; sie steht täglich Hunderten von Prozessingenieurinnen und -ingenieuren zur Verfügung.

Hybrider Ansatz, Hand in Hand

»Für unsere Analyse haben wir zwei Dinge zusammengebracht: erstens die physikalischen Gesetze, die wir in einem Modell dargestellt haben – sprich das Expertenwissen über die thermodynamischen und chemikalischen Prozesse. Und zweitens die Daten, die verschiedene Sensoren zum Messprozess ermitteln, beispielsweise zu Temperatur und Druck. Diese verwenden wir dort, wo keine physikalischen Angaben vorliegen«, erläutert Küfer, Bereichsleiter am Fraunhofer ITWM. Bisher werden solche Sensordaten lediglich dazu genutzt, die Prozesse zu überwachen. Das Team rund um die beiden Forscher hebt diesen »Datenschatz« durch Methoden

des maschinellen Lernens. Modelle und Prozessdaten ergänzen sich auf gewinnbringende Weise. Denn so wie die physikalischen Modelle nicht die gesamte Realität abbilden können, da nicht alle Randdaten bekannt sind, lassen sich nicht alle Daten im laufenden Prozess erheben, da in den Reaktoren meist harsche Bedingungen herrschen. Kurzum: Modelle und Daten füllen gegenseitig die Lücken.

Das Analysetool ist nicht auf die chemische Industrie beschränkt. Vielmehr bringt es überall dort Vorteile, wo Prozesse mit einer großen Zahl an Einflussfaktoren gesteuert werden müssen – und bei denen sich der Prozess nicht allein über Messungen oder die Prozessdaten beschreiben lässt. Langfristig, so der Plan der Forscher, soll das System echtzeitfähig werden. Momentan dauert die Entscheidung ein paar Minuten.

Für die Entwicklung des hybriden Analysetools erhalten Dr. Michael Bortz und Prof. Karl-Heinz Küfer den diesjährigen Joseph-von-Fraunhofer-Preis. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit dem »Nachweis der Energieeinsparung in der chemischen Industrie«.

Europa verbraucht 20% der Energie für Chemie. Das Fraunhofer-Analyse-Tool hilft beim Einsparen.



Dr. Michael Bortz und Prof. Karl-Heinz Küfer (4. und 6. v. l.) mit ihrem Team vom Fraunhofer ITWM.



Die drei Preisträger vom Fraunhofer HHI im volumetrischen Studio in Babelsberg.

Forschung macht Film zum Erlebnis

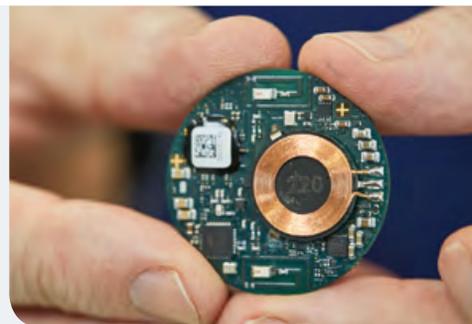
Für den Zuschauer haben Ingo Feldmann, Dr. Oliver Schreer und Peter Kauff vom Fraunhofer HHI die Tür zum begehbaren Film ganz weit aufgemacht.

Begehbare Filme öffnen dem Zuschauer den Weg in die Filmszenen. Doch Personen wirken bislang noch künstlich, ihre Bewegungen bleiben unnatürlich. Auch Bartstoppeln am Kinn, Muttermale auf der Haut, die Textur, also etwa die Art, wie der Stoff eines Kleides gewebt ist – all das ist von der Realität noch weit entfernt. Bisher.

Ingo Feldmann, Dr. Oliver Schreer und Peter Kauff vom Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI haben nun eine Technologie entwickelt, die diese Probleme behebt. »Wir können virtuelle Menschen in die VR-Umgebung einfügen, die lebensecht wirken und sich in der künstlichen Welt ebenso flüssig und natürlich bewegen,

Hart wie Eishockey

Ein Forschungsteam aus dem Fraunhofer IIS macht jede Spielbewegung messbar – und das unter extremen Bedingungen. Die Premiere in der US-amerikanischen NHL wurde zum Spektakel. Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2019!



Ein solcher Chip im Inneren des Pucks ermöglicht die Echtzeitanalysen.

Eishockey einer neuen Dimension erlebten Fans und Fachleute erstmals bei den Eishockey-Spielen auf dem »2019 Honda NHL All-Star Weekend« in San José, USA. In Echtzeit wurden die Bewegungen von Spielern und Puck analysiert – ein absolutes Novum.

Die Technologie dafür hat ein 20-köpfiges Forscherteam aus dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Nürnberg entwickelt. Stellvertretend für das Team erhalten Thomas von der Grün, Norbert Franke und Thomas Pellkofer den Joseph-von-Fraunhofer-Preis. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit »der robusten Technik, die bei den hohen Belastungen während des Spiels verlustfrei funktioniert«.

wie wir es aus der realen Welt kennen«, sagt Ingo Feldmann, Gruppenleiter am Fraunhofer HHI. »Auch die Textur erscheint dem Betrachter wie im wirklichen Leben.«

Die Forscher filmen die Schauspieler mit Kameras, die jeweils zu Paaren zusammengefasst und optimal im Raum verteilt sind. Bis zu 30 Bilder pro Sekunde nehmen die Kameras auf, eine Software ermittelt daraus die entsprechenden Tiefeninformationen. Sie errechnet, wie weit welches Körperteil von der Kamera entfernt ist. Anschließend fusioniert sie die Daten der einzelnen Kamera Paare. Heraus kommt ein naturgetreues dreidimensionales Abbild der Person samt Ihren Bewegungen, das für beliebige Blickwinkel gerendert werden kann. Dieses dreidimensionale Modell integrieren die Forscher direkt in die virtuelle Welt, samt allen Bewegungen, die die Person ausführt. Bisher wurden die Personen statisch gescannt und ihre Bewegungen dann im Computer animiert.

Premiere für Europa

Dafür haben die Forscher am Fraunhofer HHI ein entsprechendes Studio aufgebaut. Es besteht aus LED-Lichtelementen, die sowohl den Hintergrund für die Aufnahmen schaffen, als auch für eine flächige Beleuchtung sorgen. Aus diesen Wandelementen lugen 32 Kameraaugen heraus – unten vier Paare, in der Mitte acht, und in der Decke noch mal vier. Jede dieser Kameras hat eine Auflösung von zehnmal HD – genauer gesagt 20 Megapixel. Die Datenrate, die dabei entsteht, ist gigantisch: 1,6 Terabyte pro Minute. Im Sommer 2018 haben die Forscher ein solches Studio auf dem

Filmgelände in Babelsberg errichtet – damals das einzige seiner Art auf dem europäischen Festland. Hier können externe Kunden Digitalisierungen durchführen lassen und Zusatzservices buchen. Dazu wurde zusammen mit Studio Babelsberg, ARRI, Interlake und UFA eigens eine Produktionsgesellschaft gegründet.

Die Forscher am Fraunhofer HHI möchten die Technologie zukünftig auch in anderen Bereichen einsetzen. Bei schwierigen Operationen könnte sich ein entfernter Experte in VR zuschalten, den Patienten in Echtzeit sehen und Hilfestellung geben. Für historische Dokumentationen ist die Technologie ebenfalls interessant: In einem bereits laufenden Projekt werden historische Szenen, etwa Reden von Cicero auf dem Forum Romanum, nachgestellt. »Im Wesentlichen kann unsere Technologie überall dort eingesetzt werden, wo es auf Authentizität ankommt«, erläutert Kauff, der die kommerzielle Verwertung im Blick hat. Sein Kollege Schreer, der zusammen mit Ingo Feldmann die Algorithmen entwickelt hat, ergänzt: »Unser Verfahren öffnet eine Tür zu einem riesigen neuen Anwendungsfeld.«

»3D Human Body«

Für die Entwicklung der hier verwendeten Technik »3D Human Body Reconstruction« erhalten Ingo Feldmann, Dr. Oliver Schreer und Peter Kauff den Joseph-von-Fraunhofer-Preis. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit der »Breite der Anwendung und der technologischen, wissenschaftlichen Entwicklung«.

32 Kameraaugen, jede Kamera filmt mit zehnmal HD – pro Minute entstehen 1,6 Terabyte Daten

Eishockey ist schnell – Fraunhofer hält Schritt: Bis zu 2000 Mal pro Sekunde wird die Position des Pucks gemessen

»Wir haben im Puck einen Sender untergebracht, der ein Signal an 16 im Stadion verteilte Empfänger schickt«, erläutert von der Grün, Abteilungsleiter am Fraunhofer IIS. »Über die Zeit, die das Signal bis zu den jeweiligen Empfängern braucht, ermittelt das System die exakte Position. Im Prinzip haben wir also das GPS-System auf den Kopf gedreht.« Die Besonderheit liegt auch in der hohen Messrate. So wird die Position für den Puck 2000-mal pro Sekunde gemessen. Bei einer Puck-Geschwindigkeit von 140 Kilometern pro Stunde heißt das: alle zwei Zentimeter. Die Spielerposition ermittelt das System 200-mal pro Sekunde.

Der härteste Einsatz

Die Herausforderungen waren groß. Das System muss klein genug sein, um sich im Puck unterbringen zu lassen. Es muss harte Stöße gegen Schläger und Banden überstehen. Und es muss bei Tieftemperaturen von minus elf Grad Celsius zuverlässig arbeiten. Dazu kommt: Der Puck darf sich für die Spieler trotz der integrierten Elektronik nicht anders verhalten als ein Puck ohne diese Technik. Das Fraunhofer IIS bot hier zum einen die nötige Expertise, zum anderen die räumlichen Gegebenheiten für die Tests. So etwa eine große Halle mit einer künstlichen »Eisfläche« sowie ein Labor mit Absorbern



Franke, von der Grün und Pellkofer (v.l.) auf dem »Eis«.

an Wänden und Decken, in dem sich das Abstrahlverhalten des Senders optimal untersuchen lässt.

Das System ist jedoch keineswegs auf eine Anwendung im Sport begrenzt. »Indem wir auf die schnellste Teamsportart gegangen sind – und dann auch noch Indoor – haben wir die schwerste Einsatzmöglichkeit gewählt«, sagt Pellkofer. »Eishockey ist für uns der anspruchsvollste Showcase, daher können wir auch andere herausfordernde Tracking-Aufgaben bewältigen.«

Angela Merkel bei der Eröffnung des Offshore-Windparks in der Ostsee vor Rügen. Die Großanlage soll mit 60 Windturbinen 385 Megawatt Strom liefern – genug für 200 000 Haushalte. Fürs Abschlussbild brachte die Bundeskanzlerin ihr Pusterad nicht in Gang; sie musste mit dem Zeigefinger nachhelfen.

© action press



Wer Wind ernten will,...

... muss Energie speichern. Alle reden von „E“, sprechen wir von „B“. Mit welcher Batterietechnik kann die Energiewende gelingen? Drei aktuelle Lösungsansätze für die Zukunft.

Text: Mehmet Toprak

Keramik ist ein wunderbares Material. Es ist hart, fest und formstabil. Es kennt fast keinen Verschleiß und korrodiert nicht. Es ist witterungsbeständig und hitzeresistent. Ingenieure lieben keramische Werkstoffe, sie können diese für enorm viele Anwendungen einsetzen. Jetzt haben die Spezialisten am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS »cerenergy« entwickelt.

Das Ziel: 65 Prozent erneuerbare Energien bis zum Jahr 2030

Diese Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie ist der jüngste Coup der Forschenden aus dem Institut mit Standorten in Dresden und Hermsdorf. Haupteinsatzgebiet der Technik sind stationäre Energiespeicher, beispielsweise Notstromaggregate in Krankenhäusern oder Pflegeheimen. In Privathäusern könnte die Natrium-Batterie wie ein Kühlschrank im Keller stehen und die überschüssige Energie der Photovoltaikanlage auffangen. Die Energiewende hin zu Windkraft- und Solaranlagen benötigt neuen Schub. Der Bau von Windrädern in Deutschland ist ins Stocken geraten. Dennoch will die Bundesregierung den Anteil erneuerbarer Energien am Strommix von aktuell 38 Prozent bis zum Jahr 2030 auf 65 Prozent erhöhen. Ein großes Problem ist bisher, dass bei Windstille und fehlender Sonneneinstrahlung kein Strom produziert wird und der Akku einspringen muss. Die wartungsarmen Stromspeicher aus dem Fraunhofer-Labor wären die ideale Ergänzung.

Da die hier verwendete Spezial-Keramik leitfähig ist, dient sie als Elektrolyt. Und zwar nicht in flüssiger, sondern in fester Form. Außerdem verwenden die Forscher Kochsalz (Natrium) und Nickel, jeweils in Pulverform. In den Materialien liegt gleich der erste große Vorteil der Technik. Bei der Produktion greift man auf Rohstoffe aus Förderstätten in Europa zurück. Kein Lithium aus Asien oder Afrika, kein Kobalt aus dem Kongo, keine Kinderarbeit.

Auch die Entsorgung ist unkritisch. Verbrauchte Akkus können beispielsweise in Hochöfen als Schlackebildner bei der Stahlherstellung verwendet werden. Weitere Vorteile von cerenergy® nennt Dr. Roland Weidl, Abteilungsleiter System-

integration und Technologietransfer am IKTS: »Anders als bei Lithium-Ionen-Akkus kann die Batterie nicht überhitzen oder gar anfangen zu brennen. Die verwendeten Materialien interagieren sehr stabil miteinander. Deshalb kann man sie auch problemlos in den Keller stellen.« Die Tatsache, dass es sich um eine keramische Batterie handelt, in deren Innerem 300 Grad Celsius herrschen, ändert daran nichts. Denn der Nutzer bekommt davon nichts mit, genau wie beim heimischen Backofen ist das Gerät gut isoliert und von außen nicht heiß. »Die 300 Grad sind da fast langweilig«, sagt Weidl. Eine 30-cm-Zelle mit 100 Amperestunden haben die Expertinnen und Experten am IKTS bereits gebaut und damit einen Weltrekord für die Natrium-Batterien aufgestellt.

Mühe war die Entwicklung der Batterie nicht. Ein Problem ist die Herstellung des keramischen Elektrolyten. In der Regel wird keramisches Pulver gepresst und dann im Ofen gebacken. Das Pressen ist aber sehr teuer. Die IKTS-Experten dagegen stellen das Keramikrohr mit einem sogenannten Extruder her. Die Arbeitsweise dieses Geräts kann man sich in etwa vorstellen wie eine Nudelmaschine. Dabei werden dickflüssige oder auch pastöse Materialien unter hohem Druck langsam aus einer Öffnung herausgepresst. Die Öffnung bestimmt zugleich die Form des Materials, in diesem Fall ein Keramikrohr. »Wenn man weiß, wie es geht«, schmunzelt Weidl, »ist die Herstellung einfach.«

Eine Reihe von Patenten ist schon eingereicht

Eine Reihe von Patenten haben die Forschenden schon eingereicht. Auch ein funktionierender Prototyp existiert. Gefertigt werden soll die Natrium-Batterie von der oberfränkischen Alumina Systems GmbH. Ein erstes Produkt könnte schon in drei Jahren auf den Markt kommen.

Nicht ganz so harmlos wie Kochsalz und Nickel ist ein anderer Hoffnungsträger im Portfolio der Batterietechnologien von Fraunhofer: Wasserstoff. Seit Jahrzehnten versuchen Wissenschaftler, das Potenzial dieses Rohstoffs zu nutzen, der unbegrenzt zur Verfügung steht. Allerdings ist das Gas explosiv und hochbrennbar – und deshalb nur bedingt in einem Tank unter dem Autositz oder im Eigenheim zu lagern. ▶

5 Thesen von Prof. Stelter

1 Für mindestens zehn Jahre werden Lithium-Batterien die einzige Technologie sein, die Elektromobilität im großen Stil ermöglicht.

2 Es gibt nicht genügend Lithium und Kobalt auf unserem Planeten, um die Menschheit mit Batterieautos auszustatten und gleichzeitig Strom stationär zu speichern. Wir brauchen alternative Batterietypen.

3 Natrium-Batterie und Wasserstoff-technik werden die Lithium-Batterie nicht verdrängen; sie werden sie ergänzen.

4 Lithium-Batterien werden für zwei Fahrzeuggenerationen Haupttechnik für kleinere Pkw bleiben. Wasserstoff kann komplementär eingesetzt werden für schwere Autos, vor allem Nutzfahrzeuge.

5 Natrium-Batterien laden langsam. Dafür sind sie aus einheimischen Werkstoffen herzustellen. Damit sind sie ideal als stationäre Stromspeicher von Sonnen- und Windenergie.

► An einer Lösung arbeiten Dr. Lars Röntzsch und ein Team aus Ingenieuren, Physikern und Chemikern schon seit 2012 am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden. Ihre Idee: Wenn Wasserstoff chemisch gebunden wird, dann lässt er sich gefahrlos für die Energiegewinnung nutzen.

Das Produkt, mit dem sie die Idee erfolgreich in die Wirklichkeit geholt haben, heißt »Powerpaste«. Die Paste besteht aus Magnesiumhydrid (MgH_2), das mit nicht-toxischem Ester sowie metallischen Salzen gemischt wird und in einer Tube oder Kartusche untergebracht ist. Kommt das Magnesiumhydrid mit Wasser in Kontakt, wird Wasserstoff freigesetzt. In einer Brennstoffzelle wird diesem in einer kontrollierten Reaktion Sauerstoff zugeführt – und es fließt Strom.

Brennstoffzellen können in kurzer Zeit hohe Leistungsspitzen zur Verfügung stellen. Gegenüber Lithium-Ionen-Akkus bieten sie eine höhere Leistungsdichte. Sie überzeugen auch bei der sogenannten Energiedichte, also bei der Frage, wie viel Energie in einem bestimmten Volumen gespeichert werden kann. Daraus resultieren eine hohe Reichweite und lange Betriebsdauer. Ist der Akku leer, wechselt der Nutzer nur die Kartusche mit der Powerpaste und schon steht wieder Energie zur Verfügung. Die Entsorgung ist ebenfalls kein Problem. Bei der Stromproduktion entsteht als Nebenprodukt nur Wasserdampf, verbrauchte Kartuschen enthalten als Abfallprodukt Magnesiumhydroxid, ein ungiftiger Stoff, der sich über den Hausmüll entsorgen lässt.

Drei Lösungen für drei Probleme

Brennstoffzellen sind ideal als stationäres Stromaggregat, das im Notfall in Aktion tritt, wenn die bestehende Stromversorgung kurzzeitig ausfällt. »Wir peilen damit natürlich auch den internationalen Markt an«, sagt Röntzsch. Auch im Mobilbereich ist der Einsatz denkbar. Prof. Michael Stelter, Stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer IKTS und verantwortlich für die Strategie in der Batterieforschung: »Wasserstoff kann die Lithium-Batterien in Fahrzeugen ergänzen, insbesondere dort, wo es um große und schwere Autos geht und wo sehr weite Strecken am Stück gefahren werden müssen. Das können zum Beispiel Nutzfahrzeuge sein.«

Links: Die wasserstoffhaltige Powerpaste lässt sich problemlos in Kartuschen oder Tuben aufbewahren. © Fraunhofer IFAM

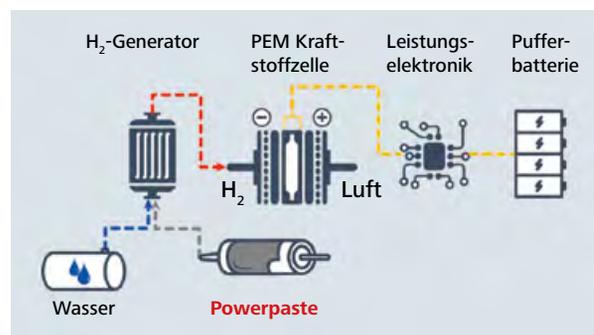
Rechts: Der typische Aufbau einer Brennstoffzelle. © Fraunhofer IFAM



Sind Natriumbatterien oder Wasserstoff-Brennstoffzellen mit ihren Vorzügen die kommenden Stars der Energieversorgung? Eine Verdrängung der Lithium-Ionen-Akkus ist weder durch Natrium- noch durch Wasserstoff-Brennstoffzellen zu erwarten. Aber sie bilden eine Ergänzung zur Lithium-Ionen-Technik: Natrium-Batterien als gutmütige stationäre Energiespeicher, die etwas agilere Wasserstoff-Variante für den stationären und den mobilen Einsatz.

Beherrscht werden wird die Elektromobilität in den nächsten Jahren von der Lithium-Ionen-Technik. Auch darin investiert Fraunhofer beträchtlich. Beispielsweise mit dem Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS in Braunschweig, das im Februar eröffnet wurde. In dieser Forschungsfabrik werden Fraunhofer-Institute wie das IKTS, das IFAM und das Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST gemeinsam mit der Technischen Universität Braunschweig daran arbeiten, Akku-Prototypen für den industriellen Einsatz fit zu machen und deren Praxistauglichkeit zu demonstrieren. Ergänzende Techniken werden allerdings immer wichtiger werden. Prof. Stelter: »Es gibt nicht genügend Lithium und Kobalt auf diesem Planeten, um die Menschheit mit Batterieautos auszustatten und gleichzeitig große Mengen Strom in stationären Speichern unterzubringen.«

Die cerenergy-Zelle mit einer Kapazität von 100 Ah – Weltrekord für diesen Batterietyp. © Fraunhofer IKTS



Ab wann wird das E-Auto öko?

Fraunhofer-Forschende haben alle Faktoren nachgerechnet. Jetzt wissen sie, nach welcher Laufleistung Elektromobilität wirklich besser ist fürs Klima.

Text: Mehmet Toprak

Bei der Einführung einer neuen Technologie gibt es typischerweise drei Phasen. Es startet mit einem Hype. Dann kommt die Phase des Zweifels. Danach, in Phase drei, beginnt sie sich Schritt für Schritt durchzusetzen. Das Elektrofahrzeug ist allem Anschein nach aktuell in Phase zwei. Es treten vermehrt Fragen zur ökologischen Vorteilhaftigkeit auf.

Fachleute wie Stefan Blume vom Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig arbeiten daran, Sachlichkeit in die Diskussion zu bringen. Blume ist Projektleiter in der Arbeitsgruppe »Nachhaltige Fabrikssysteme und Life Cycle Management«, die sich mit der nachhaltigen Herstellung heutiger und künftiger Batterien beschäftigt. Er weiß, wie man die CO₂- oder Ökobilanz eines Fahrzeuges korrekt berechnet – und das ist bei Elektroautos deutlich komplexer als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Vom Rohstoff bis zur Entsorgung: Wo hat das E-Auto Vorteile?

Für ihre Berechnungen nutzen die Fraunhofer-Forschenden dabei einen Ansatz, für den es eine eigene ISO-Norm gibt. Auf Basis der ISO-Norm 14040 erfasst eine Ökobilanz »alle relevanten Input- und Output-Flüsse eines Produktes entlang seines Lebensweges und ermöglicht daraus die Berechnung der potenziellen Umweltwirkungen«, wie Institutsleiter Prof. Christoph Herrmann erklärt. Berechnet werden also nicht nur die CO₂-Emissionen, sondern auch andere lokale und globale Auswirkungen wie etwa Rohstoffverbrauch oder die Auswirkung toxischer Stoffe auf Mensch und Natur. ISO-Norm und ergänzende Richtlinien setzen dabei nur den Rahmen. Welche Aspekte Priorität bekommen, welche konkreten Szenarien angelegt werden und welche Rechenmethoden sie nutzen, entscheiden die Fraunhofer-Experten selbst und dokumentieren es entsprechend. Die Forscherinnen und Forscher überprüfen dabei alle Faktoren – von der Gewinnung der Rohstoffe bis hin zum täglichen Fahrbetrieb und schließlich der Entsorgung. Die resultierenden Bewertungsergebnisse unterscheiden sich deutlich, abhängig vom bewerteten Fahrzeug, vom Fahrverhalten des Nutzers und den äußeren Rahmenbedingungen.

Im Öko-Duell zwischen Elektroautos und konventionellen Fahrzeugen gibt es dabei grundsätzliche Unterschiede. »Bei Autos mit Verbrennungsmotor sind die Ergebnisse weitge-



© AdobeStock

hend unabhängig von Ort oder Einsatzgebiet, wobei die CO₂-Emissionen zu ca. 80 Prozent beim Fahren entstehen«, erklärt Blume. Beim Elektroauto wird die Rechnung deutlich komplexer. Der CO₂-Ausstoß hängt stärker von regionalen Faktoren wie Außentemperaturen und Strommix am jeweiligen Einsatzort ab. Ein E-Auto, das in einer Region betrieben wird, dessen Stromanbieter erneuerbare Energien nutzt, ist wesentlich umweltverträglicher als sein Pendant, das mit Strom aus Braunkohle betrieben wird. Fahrzeugbesitzer sollten folglich einen Energieanbieter wählen, der Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt. Stefan Blume bringt es auf die Formel: »Je grüner der Strom, desto grüner das Auto«. Eine weitere wesentliche Rolle spielen die Außentemperaturen am Einsatzort. Je extremer die Außentemperaturen, desto höher fällt der zusätzliche Energiebedarf zum Heizen oder Kühlen des Fahrzeugs aus. Im Vergleich zum Verbrenner muss diese Energie aus der Fahrzeugbatterie gedeckt werden – und je mehr Strom verbraucht wird, desto schlechter die Umweltbilanz.

Fazit: Das E-Auto hat die Zeit auf seiner Seite

Fazit bisheriger Untersuchungen: In gemäßigten Breiten und mit dem europäischen Mix für Elektrizität zieht der Stromer in Sachen CO₂-Emissionen typischerweise nach 50 000 bis 100 000 gefahrenen Kilometern mit dem Diesel oder Benziner gleich. Ab dann darf er als umweltverträglicher gelten als der Wagen mit Verbrennungsmotor. Zusätzlich gilt: Das E-Auto hat die Zeit auf seiner Seite. Bei Verbrennungsmotoren ist die Technologie nach 100 Jahren Entwicklung weitgehend ausgereizt, bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen wird hingegen noch viel Potenzial vermutet. Blume sagt: »Gerade bei Energiespeichern werden wir in den nächsten Jahren noch größere Entwicklungssprünge erleben. Damit wird einerseits die Reichweite von Elektrofahrzeugen größer und die Elektromobilität insgesamt attraktiver. Andererseits werden der Strom und somit der Betrieb der Fahrzeuge durch einen Zuwachs an erneuerbaren Energien umweltverträglicher.« ■

E-Auto: die Fakten

Sparen: Der Kaufpreis ist deutlich höher. Allerdings sind E-Autos in der Nutzung billiger. Sie sind weniger wartungs- und serviceintensiv. Und: Im Vergleich zu herkömmlichen Kraftstoffpreisen fährt das Elektroauto auf 100 Kilometer im Schnitt zwei Drittel günstiger.

Aufladen: 16 100 öffentliche Ladepunkte gibt es in Deutschland. Davon sind zwölf Prozent Schnellladesäulen.

Fahren: E-Autos kommen laut ADAC-Test auf 253 Kilometer Reichweite im Durchschnitt. Die Fahrleistung eines Pkw in Deutschland liegt im Durchschnitt bei 38 Kilometern pro Tag.

Ein Prosit auf den Trigemini!

Der fünfte Hirnnerv entscheidet mit, was uns schmeckt. Aktuell arbeitet das Fraunhofer IVV daran, alkoholfreies Bier perfekt auf ihn abzustimmen – für den vollkommenen Genuss.

Text: Prof. Jessica Freiherr

Wenn die Sommerhitze zu schaffen macht, steigt die Lust auf eine kühle Erfrischung. Alkoholfreies Bier, Radler, Russ und Co. liegen im Trend. Sie sind kalorienärmer und gesünder als das alkoholhaltige Original.

Sommerzeit ist Bierzeit – und alkoholfreies Bier liegt im Trend. Geschmacklich will es Fraunhofer in zwei Jahren dicht ans Original heranbringen.

Allerdings schmecken sie auch nicht so gut – Alkohol ist Geschmacksträger. Reduziert man den Alkoholgehalt durch Stoppen der Gärung oder thermische Behandlung, können Biere unangenehm süßlich oder bitter schmecken. Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnologie und Verpackung IVV in Freising, des Lehrstuhls Brau- und Getränketechnologie der TU München und verschiedene Industriepartner haben sich zum Ziel gesetzt, alkoholfreie und -reduzierte Biere und Biermischgetränke innerhalb der nächsten zwei Jahre geschmacklich zu verbessern. Hierfür nutzen sie sogenannte trigeminale Substanzen, die den trigeminalen Nerv stimulieren. Seine Fasern verteilen sich im Gesicht, reichen in die Mundhöhle und die Kaumuskulatur. Mit dem Trigemini empfinden wir Temperaturen, die Kühle von Menthol ebenso wie die Hitze von scharfer Paprika, zudem das Prickeln von Kohlensäure oder das Brennen von Ingwer und Senfölen.

Probetrinken: Welches Hirnareal spricht das Bier an?

Die Forscherinnen und Forscher charakterisieren zunächst den Geschmack der alkoholfreien Biere pur oder gemischt mit Zitronen-, Limetten- oder Grapefruitlimonade. Dann setzen sie den Getränken trigeminale Substanzen in unterschiedlichen Konzentrationen zu und lassen die Resultate mithilfe von Fragebögen von Probandinnen und Probanden





77,7 Millionen Hektoliter Bier konsumierten die Deutschen 2018, 0,6 Prozent mehr als im Vorjahr. Nicht erfasst dabei sind die 3,6 Millionen Hektoliter alkoholfreies Bier, die in Deutschland im vergangenen Jahr gebraut wurden. © dpa

bewerten. Gleichzeitig wird deren Reaktion mit Biofeedback- und funktionellen Bildgebungsmethoden untersucht. So kann man beispielsweise sehen, wie stark Hirnareale angesprochen werden, die für emotionale und Erinnerungsreaktionen, aber auch für Belohnungsprozesse eine Rolle spielen. Die bewusste Wahrnehmung wird auf diese Weise ergänzt durch die Information über das unbewusste Empfinden, das einen ebenso großen Einfluss auf die Akzeptanz des getesteten Getränks hat.

Erst die Nase macht das Aroma

Beim Genuss von Nahrungsmitteln werden der Geruchs- und der Geschmackssinn gleichermaßen angesprochen, im Fachjargon spricht man von Flavor. Mit der Zunge können wir nur zwischen süß, sauer, salzig, bitter oder umami unterscheiden, während alle anderen Eindrücke über den Geruch wahrgenommen werden. Der französische Gastronom Brillat-Savarin erklärte bereits 1820: »Der Geruchs- und Geschmackssinn sind eigentlich identisch: Das Labor befindet sich im Mund und der Abzug in der Nase.« Trinkt man ein Glas Bier und hält sich dabei die Nase zu, schmeckt es nur bitter. Erst wenn man die Nase öffnet, erschließt sich das vollmundige Aroma. Hinzu kommen trigeminale Einflüsse – am Beispiel des Bieres das Prickeln der Kohlensäure während des Trinkens.

Doch für die Wahrnehmung und Beurteilung von Getränken sind nicht allein diese chemischen Sinne ausschlaggebend. Wichtig sind auch andere Sinneseindrücke wie die ertastete Form des Glases oder der Flasche, deren Aussehen oder das Geräusch beim Öffnen. Knallt es laut, ploppt oder zischt es eher dezent? All diese sensorischen Eindrücke werden vom menschlichen Gehirn zusammengefügt und beeinflussen unbewusst die individuelle Bewertung. Sie müssen daher für ein erfolgreiches Produkt gut aufeinander abgestimmt sein. Um ein möglichst ganzheitliches Bild zu erhalten, berücksichtigen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IVV bei ihren Untersuchungen zahlreiche verschiedene Sinneseindrücke und verwenden einen ganzen Baukasten unterschiedlicher Methoden. So können sie nicht nur besser verstehen, wie Menschen Produkte wahrnehmen, sondern auch wichtige Hinweise zu deren gezielten Optimierung geben. ■

Hitlers Erbkönig

Mit weltweit einzigartiger Röntgentechnik lüften Fraunhofer-Forscher die Geheimnisse des NS-Abfangjägers Me 163. Es war das erste in Serie gebaute Flugzeug mit Raketenantrieb und Anfang der 1940er-Jahre mit rund 1000 Stundenkilometern Spitzengeschwindigkeit das schnellste der Welt.

Text: Sonja Endres

Der Flug mit einer Me 163 war selbstmörderisch: Der Kampfpilot saß zwischen zwei Tanks, randvoll mit hochexplosivem Treibstoff. Der Raketenantrieb war störanfällig und setzte kurz nach dem Start häufig aus. Die Landung mit vollbetanktem Flugzeug war fast unmöglich, die Explosionsgefahr enorm – zumal ein Fahrwerk fehlte. Das wurde 50 bis 100 Meter nach dem Abheben abgeworfen, um Gewicht und Platz zu sparen. Stattdessen sollten die Piloten auf einer rund 30 Zentimeter breiten Kufe auf einer Wiese landen. Der Aufprall bei rund 170 Stundenkilometern war so hart, dass sich immer wieder Piloten das Rückgrat brachen. Eine Bremse gab es nicht, das Flugzeug war nach Bodenkontakt quasi unkontrollierbar.





Damit die Röntgenstrahlung die Me 163 nicht in voller Länge durchdringen musste, stellten Reims und sein Team sie hochkant. So kam wesentlich mehr Strahlung am Detektor an, was die Bildqualität deutlich verbesserte.
© Fraunhofer IIS

XXL-CT

Die Röntgenstrahlung kann bis zu 20 Zentimeter dicke Stahlwände durchdringen.

1_Strahlungsquelle (Strahlungsenergie*)	9000 KeV
2_Detektor (Breite)	4 m
3_Türme (Höhe)	5 m
4_Drehteller (Durchmesser)	3 m

* Kiloelektronenvolt

Wenigen erfahrenen Piloten gelang es trotzdem, diese Höllenmaschine zu fliegen und unversehrt durch den Zweiten Weltkrieg zu bringen. Weltweit sind zehn dieser bemerkenswerten Relikte der Luftfahrtgeschichte erhalten geblieben, eins davon im Deutschen Museum in München. In der Luftfahrthalle hing es mehr als 30 Jahre unbehelligt unter der Decke. Vieles spricht dafür, dass dieses Exemplar ein spezielles Testflugzeug war, ein Erbkönig, der helfen sollte, den Himmel über Deutschland von den Alliierten zurückzuerobern.

Geheimnisse? So startet die XXL-Suche

Die Me 163 soll ihre Geheimnisse nicht mehr für sich behalten: Die weltweit einzigartige Hochenergie-Anlage des

Entwicklungszentrums Röntgentechnik EZRT am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Fürth bringt sie per XXL-Computertomographie ans Licht. Die hochenergetische Röntgenstrahlung durchdringt massive, mehrere Tonnen schwere Großobjekte und erzeugt hochauflösende, kontrastreiche Bilder in bisher ungekannter Qualität. »Während medizinische CT-Geräte mit Energien im Bereich von 100 Kiloelektronenvolt bestrahlen, um beispielsweise einen Knochenbruch zu untersuchen, kommen wir mit unserer Strahlenquelle, einem Linearbeschleuniger, auf 9000«, erklärt Nils Reims, der zusammen mit seinen Kollegen Michael Salamon und Dr. Michael Böhnel 2018 den Fraunhofer-Preis für die innovative Entwicklung erhielt. Würde sich ein Mensch direkt davorstellen, wäre er in einer halben Minute tot. Aus Sicherheitsgründen lässt sich die Anlage nur von außen scharfstellen. ►

Einen Monat dauert die Scan-Arbeit, dann zeigt sich jedes Detail.

► **»Im Prinzip ist es ganz einfach:** Wir strahlen mit der Röntgenstrahlung durch das Objekt und nehmen den Schattenwurf im Detektor, also der Kamera, auf.« Linearbeschleuniger und Detektor sind an einander gegenüberliegenden Türmen montiert und fahren synchron langsam nach oben. Dabei scannen sie scheinbar das Objekt, das sich auf einem Teller vor dem Detektor dreht – bei der Me 163 in Winkelschritten von weniger als einem Grad. »Weil wir das Objekt aus verschiedenen Richtungen aufnehmen, können wir mithilfe eines Algorithmus später aus den Bildern ein 3D-Modell erstellen.« Der Scanvorgang dauert in der Regel mehrere Tage. Bei der Me 163 dauerte er einen Monat. Denn die Bildqualität sollte so hoch wie möglich sein. Außerdem mussten wegen der Größe der Me 163 Rumpf, Heck und Flügel einzeln gescannt werden.

Ergebnis des Aufwands: gestochen scharfe Bilder mit einer Auflösung von bis zu 350 Mikrometern. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von durchschnittlich 50 bis 80 Mikrometern. Reims erklärt: »Wir haben 2500 einzelne Bilder aus allen Richtungen gemacht. Die gesammelten Informationen sind so detailliert, dass wir beispielsweise Ersatzteile für die Me 163 mittels 3D-Druck anfertigen könnten.«

Die Piloten bestiegen die Me 163 in einem Spezialanzug, der jedoch nur psychologische Wirkung hatte – vor auslaufendem Treibstoff, einem aggressiven Chemikaliengemisch, schützten sie nicht.
alle Fotos: © dpa



Erste Bilder konnten Reims und sein Team den Wissenschaftlern des Deutschen Museums bereits zur Verfügung stellen. Die vollständige Auswertung wird noch einige Zeit dauern – kein Wunder bei einer Datenmenge von rund einem Terabyte. »Zurzeit machen wir die Datenauswertung überwiegend per Hand. Wir arbeiten aber an Algorithmen, die eine Automatisierung ermöglichen.«

Die Bilder zeigen: Es ist eine ganz besondere Me 163

Der Vergleich der CT-Bilder mit historischen Konstruktionsplänen der Me 163 zeigt, dass das Exemplar des Deutschen Museums zahlreiche Abweichungen aufweist. Andreas Hempfer, Kurator für historische Luftfahrt, und seine Kollegen vermuten daher, dass es sich um einen Prototyp handelte.

Diese Vermutung wird durch einen weiteren Fund bestärkt: Das typisch dreieckige Werknummernschild der Luftwaffe, das Hempfer in der Spitze der Me 163 entdeckte, war leer. »Dass die Nummer fehlt, ist außergewöhnlich. So etwas hat es bisher noch nie gegeben.« Anhand der Werknummer lassen sich Flugzeuge eindeutig identifizieren und ihre Geschichte nachvollziehen. Daher hofft Hempfer, auf den CT-Bildern des unzugänglichen Hecks der Me 163 ein zweites Schild aufzuspüren. »Die Werknummern wurden normalerweise an mehreren Stellen angebracht, die eine große Überlebenswahrscheinlichkeit hatten. Explodierte das Heck, wäre es die gepanzerte Spitze gewesen, bei einem Absturz mit Spitze voran das Heck.«

Eine weitere Besonderheit des »Krafftis«, wie die Me 163 wegen ihrer bauchigen Form genannt wurde: An der Flugzeugdecke hinter dem Cockpit war eine Vorrichtung, die es ermöglichte, eine Druckkabine einzuhängen. Damit konnte die Me 163 höher fliegen, ohne dass der Pilot eine Sauerstoffmaske benötigt hätte. »Wir wissen, dass es Bestrebungen gab, die Me 163 mit so einer luftdichten Haube auszurüsten. Es ist jedoch der einzige Fall, bei dem so etwas auch wirklich gebaut wurde«, so Hempfer. Ob es sich nur um

Die Wände der zwei Treibstofftanks links und rechts vom Piloten waren aus hauchdünnem Metall. Bei der harten Landung liefen Reste des ätzenden Gemischs häufig aus.



Schnelle Jäger: Militärmaschinen nach 1945

Mit der Bell X-1 gelang es den USA 1947, die Schallmauer zu durchbrechen. Sie hatte zwar auch einen Raketenantrieb, ansonsten aber wenig mit der Me 163 gemein.



Das amerikanische Versuchsflugzeug XB-70 Valkyrie ist mit dreifacher Schallgeschwindigkeit unterwegs.



Die North American F-100 gehörte zur ersten Generation in Serie hergestellter, strahlgetriebener Überschallflugzeuge und kam unter anderem im Vietnamkrieg zum Einsatz. Strahltriebwerke hatten gegenüber Raketentriebwerken den Vorteil, dass sie den für die Verbrennung des Treibstoffs notwendigen Sauerstoff einfach der Umgebungsluft entnahmen.

Die Lockheed Martin F-35 Lightning II ist seit 2015 im Einsatz. Sie verfügt über Tarnkappeneigenschaften, die sie für feindliche Aufklärungstechnik weitgehend unsichtbar machen.

oberflächliche Aufbauten für aerodynamische Messungen handelte oder um einen funktionsfähigen Mechanismus, untersuchen die Wissenschaftler ebenfalls anhand der CT-Bilder.

Die Scans legen die Weiterentwicklung offen

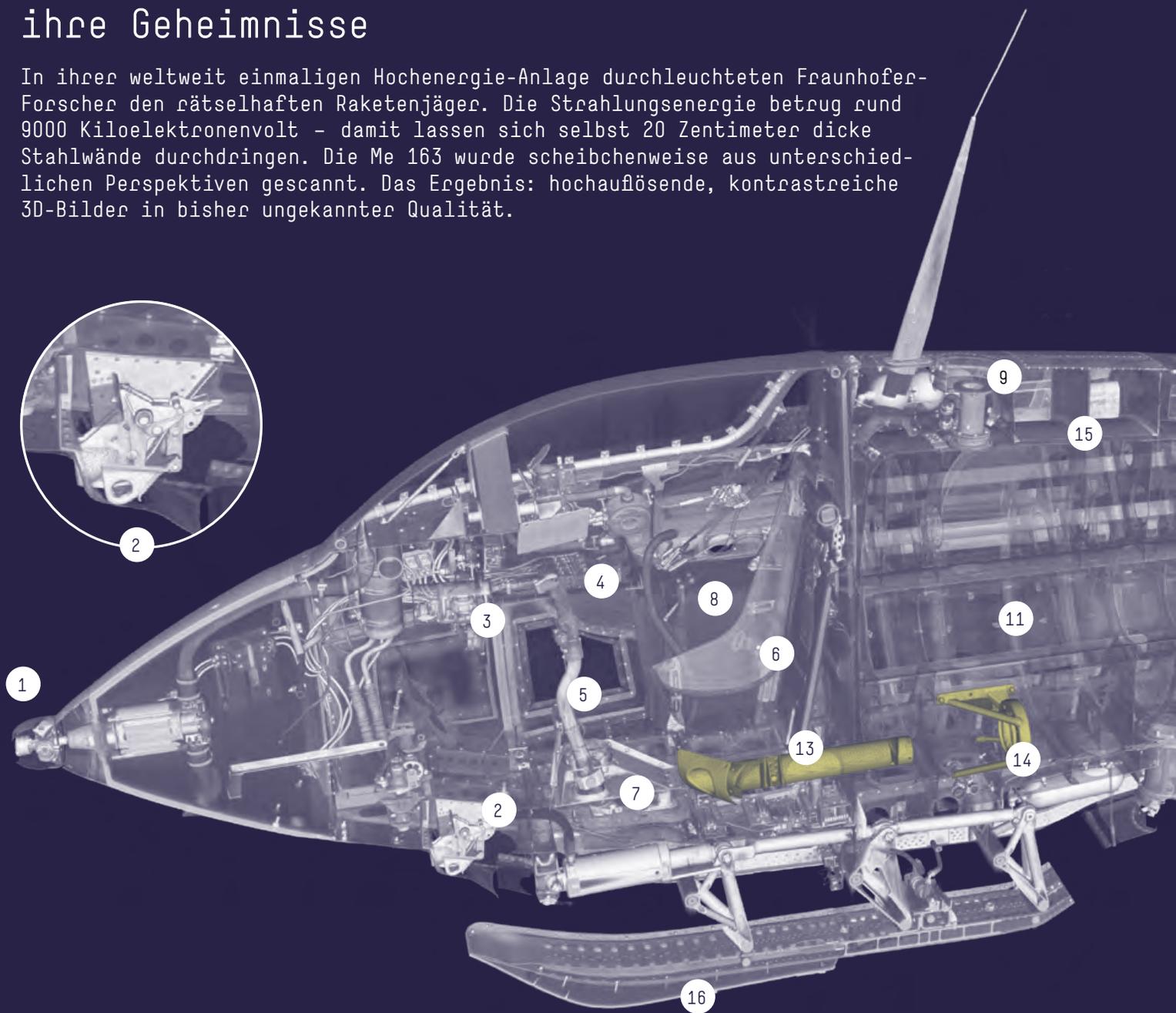
Was die Daten jetzt schon zeigen, ist, dass die Geometrie und Struktur des Fußbodens im Cockpit neu gestaltet wurden. »Hier hat man offenbar aus ersten Unfällen gelernt. Die Neuerungen sollten den harten Aufprall bei der Landung mindern.« Deutlich sieht man auf den Bildern aus dem Fraunhofer EZRT, dass es sich auch bei der Schleppkupplung des Flugzeugs um eine Weiterentwicklung handelte. Im Unterschied zu früheren Modellen wurde sie zur besseren Kraftübertragung an der Fußbodenstruktur statt am Schalenblech befestigt. Damit konnte man die Me 163 wie einen Segelflieger in die Luft schleppen, eine ungefährlichere Alternative zum Direktstart vom Boden – allerdings nur für Überführungstransporte unbetankter Me 163.

Der entscheidende Vorteil des »Krafteis« war, dass es reaktionsschnell senkrecht starten und in zwei bis drei Minuten eine Flughöhe von 10 000 Metern erreichen konnte, wo feindliche Bomber unterwegs waren. Der Nachteil war, dass die Treibstofftanks nach nur sieben Minuten leer waren und die Landung im Segelflug absolviert werden musste – deutlich zu kurz, um alliierte Bomber zu stellen und abzuschießen, zumal diese Ablenkungsmanöver flogen und die Flugroute unklar war. Hempfer erklärt: »Es gibt nur neun bestätigte Abschüsse mit einer Me 163. Das ist ungefähr die Tagesproduktion einer amerikanischen Bomber-Fabrik. Die Me 163 war also ganz sicher keine Wunderwaffe, sondern eher ein technologischer Rohrkrepierer. Vergleicht man ihre geringe Wirkung mit den immensen Entwicklungskosten, ganz zu schweigen von den vielen Menschen, die ihr Leben lassen mussten, ist das völlig irrwitzig. Es zeigt die menschenverachtende Rücksichtslosigkeit und gleichzeitig die wachsende Verzweiflung der Nazis angesichts der alliierten Übermacht.« ■

»Die Me 163 zeigt die Rücksichtslosigkeit und wachsende Verzweiflung der Nazis.«

XXL-CT: Die Me 163 offenbart ihre Geheimnisse

In ihrer weltweit einmaligen Hochenergie-Anlage durchleuchteten Fraunhofer-Forscher den rätselhaften Raketenjäger. Die Strahlungsenergie betrug rund 9000 Kiloelektronenvolt – damit lassen sich selbst 20 Zentimeter dicke Stahlwände durchdringen. Die Me 163 wurde scheinbarweise aus unterschiedlichen Perspektiven gescannt. Das Ergebnis: hochauflösende, kontrastreiche 3D-Bilder in bisher ungekannter Qualität.



Die Me 163 im Detail

01_Luftschraube Generator

02_Schleppkupplung

03_Instrumententafel

04_Waffenbedienungskonsole

05_Steuerknüppel

06_Pilotensitz

07_Cockpit-Tank links (T-Stoff)

08_Cockpit-Tank rechts

09_Tankverschluss für T-Stoff

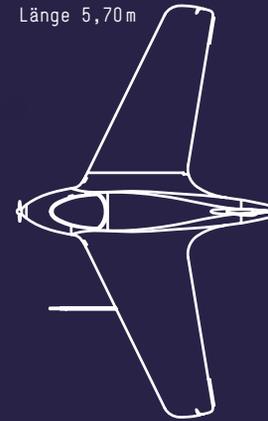
10_Starttank

11_Rumpftank

12_Brennkammer Raketenmotor

Messerschmitt Me 163 B

Länge 5,70 m

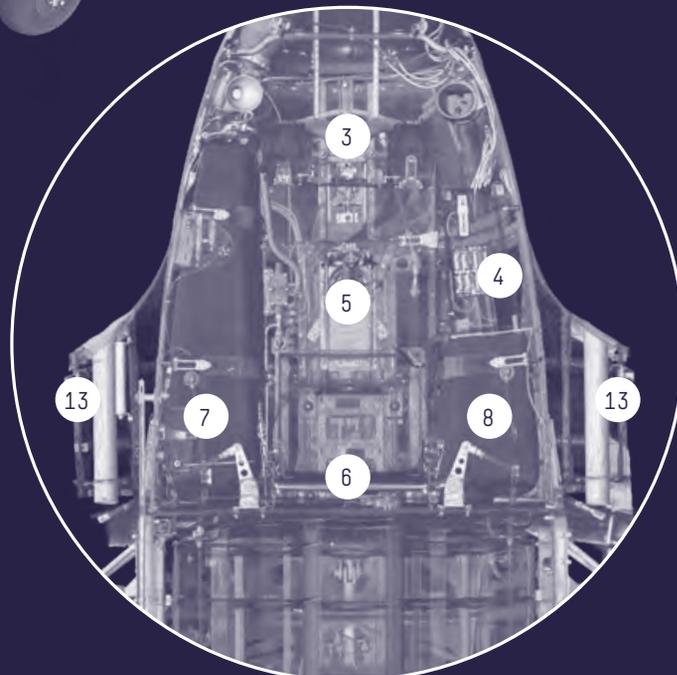
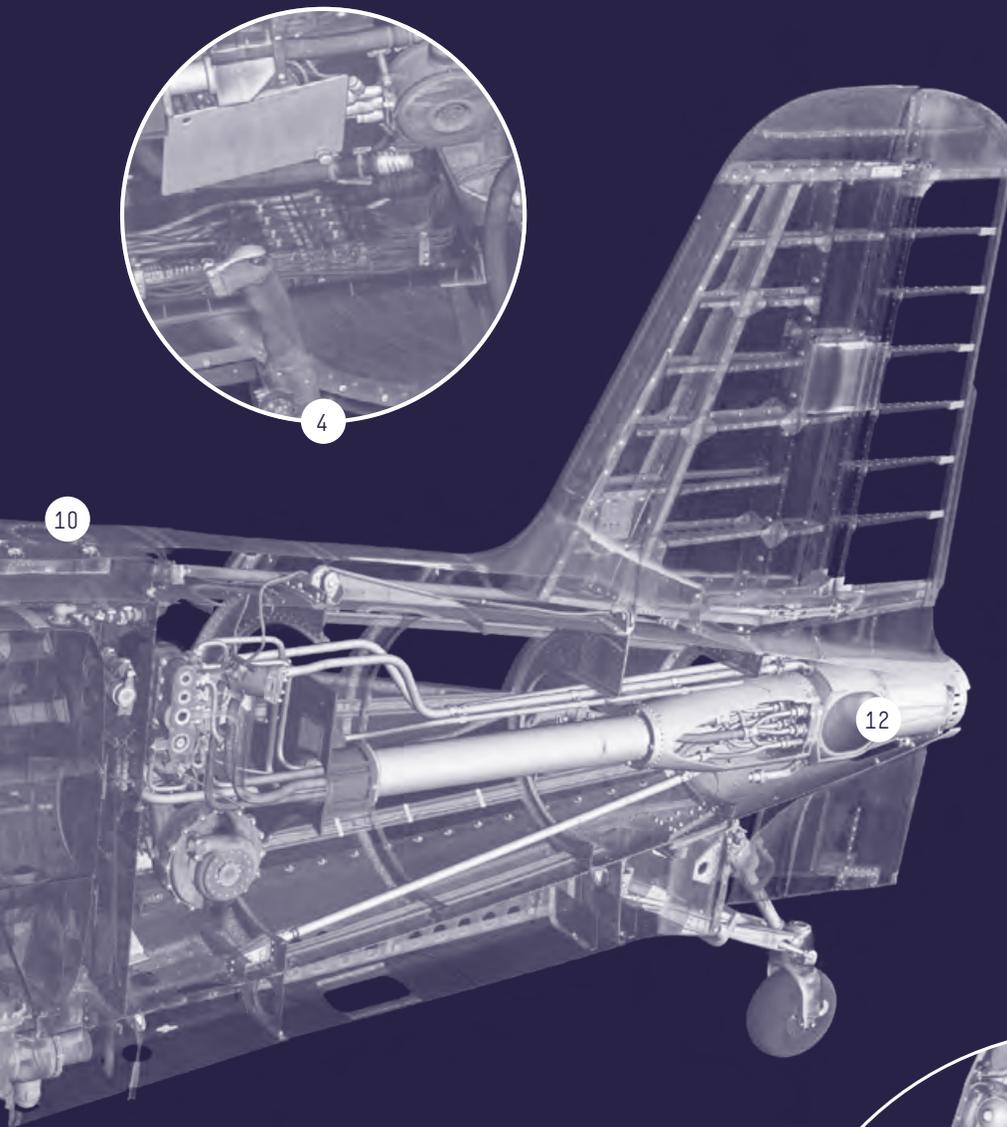


Spannweite 9,30 m



Höhe 2,75 m

Flügelfläche	19,60 m ²
Triebwerk	HWK 109-509 A-1
Schubkraft	1.600 kp
Leermasse	1.980 kg
Höchstgeschwindigkeit	1.000 km/h
Gipfelhöhe	12.000 m



Schusswaffenanlage

Die beiden Mk-108-Kanonen (Schusskanal 13) befanden sich je rechts und links in der Flügelwurzel. Von außen waren sie kaum zu entdecken, da das kurze Rohr nicht herausragte. In der Me 163 des Deutschen Museums fehlten die Kanonen.

13_Schusskanal für Mk-108-Kanone

14_Halterung für Mk-108-Kanone

15_Munitionskasten (2x60 Schuss)

16_Landekufe

Wo was wichtig wird: Fraunhofer vor Ort

K
16.–23. Oktober
Düsseldorf
Internationale Fachmesse für Kunststoff, Kautschuk, Kunststoffverarbeitung und Kunststoffherstellung

MEDICA
18.–21. November
Düsseldorf
Weltforum der Medizin

COMPAMED
18.–21. November
Düsseldorf
Fachmesse für die medizinische Zuliefererbranche und Produktentwicklung

IAA
12.–22. September
Frankfurt a.M.
Die bedeutendste Mobilitäts-Messe holt vier Tage lang die (Auto-)Welt nach Frankfurt

formnext
19.–22. November
Frankfurt a.M.
Europas führende Plattform für Mobilität

parts2clean
22.–24. Oktober
Stuttgart
Internationale Leitmesse für industrielle Teile- und Oberflächenreinigung



„Freiheit ist unser System“
26. September
Berlin
Abschlussveranstaltung zur Kampagne der Allianz der Wissenschaftsorganisationen mit Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier

Fraunhofer-Alumni-Summit
20. November
Berlin
Vierte Auflage des zentralen Treffens der ehemaligen Fraunhofer-Mitarbeitenden

Futuras In Res
21.–22. November
Berlin
Fraunhofer-Konferenz, Thema 2019: Künstliche Intelligenz – »What's the IQ of AI?«

it-sa
8.–10. Oktober
Nürnberg
Europas führende Fachmesse für IT-Sicherheit

productronica
12.–15. November
München
Weltleitmesse für Entwicklung und Fertigung von Elektronik

MS-Wissenschaft

Fünf Monate dauert die Reise des Ausstellungsschiffes in die Welt der Künstlichen Intelligenz. Stationen in Deutschland ab September:
Heidelberg (bis 1.9.) | Mannheim (2.–5.9.) | Heilbronn (7.–10.9.) | Esslingen (12.–16.9.)
Frankfurt a.M. (19.–22.9.) | Lohr am Main (24.–27.9.) | Würzburg (28.9.–3.10.)

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

4. FRAUNHOFER ALUMNI SUMMIT 2019

20. NOVEMBER 2019, BERLIN

**»KI – IM SPANNUNGSFELD
VON STRATEGIE, SICHERHEIT
UND ÖKONOMIE«**

WHAT'S THE IQ OF AI?
JOIN THE CONFERENCE
FUTURAS IN RES
Nov. 21-22, 2019
s.fhg.de/whats-the-iq-of-ai

www.fraunhofer-alumni-summit.de

**70 JAHRE
ZUKUNFT**
#WHATSNEXT