

Spezialist:in

36

Engineering
Technologie
Management

Grüne Luftfahrt

Alternative Kraftstoffe und
erneuerbarer Strom

Medizintechnik

Optimierte Diagnosen dank
Software und Mikrofluidik

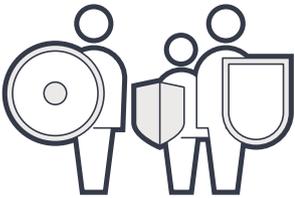
Lebensmittelindustrie

Revolutionäres Protein aus
fermentiertem CO₂

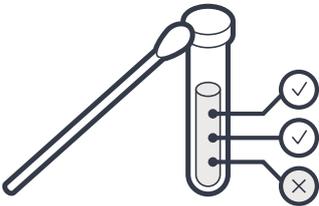
Brunel

Sind Life Sciences der Schlüssel für elementare Zukunftsfragen?

In den letzten Jahren sind Disziplinen wie Biologie, Chemie, Medizintechnik und Pharmazie zunehmend zu einer Industrie mit enormem Wachstumspotenzial verschmolzen – den Life Sciences. Die Errungenschaften dieser Branche betreffen unseren Alltag unmittelbar, sei es durch die Kreation nachhaltiger Lebensmittel oder die Entwicklung innovativer Medikamente und Laborgeräte. Grund genug, sich diesem dynamischen Forschungsfeld in vorliegender Ausgabe einmal genauer zu widmen.



Ein Forschungsnetzwerk bekämpft Krebserkrankungen mittels **personalisierter Behandlung und mithilfe des Immunsystems** – damit eröffnen sich völlig neue Behandlungsansätze.



Hochautomatisierte und kostengünstige PCR-Tests:

Mit modernen Diagnosesystemen lassen sich in Echtzeit mehrere Erreger gleichzeitig in biologischen Proben nachweisen.



Ein neuartiges Verfahren ermöglicht die Modifizierung von **DNA-Bausteinen mit der „Gen-Schere“** – lassen sich Krankheiten oder auch Tier- und Pflanzenzüchtungen künftig nach Belieben steuern?



Solein, gewonnen aus fermentiertem CO₂, könnte die Lösung für eine **ressourcenschonende Nahrungsproduktion** sein – wird das Protein unsere Essgewohnheiten revolutionieren?

Liebe Leserinnen und Leser,

vielleicht haben Sie es beim ersten Blick auf unsere Titelseite schon bemerkt: Nicht nur das Cover unseres Magazins hat ein neues Design erhalten, sondern auch der Name hat sich von „Der Spezialist“ zu „Spezialist:in“ weiterentwickelt. Damit wollen wir als Unternehmen ein Zeichen setzen und genderinklusiv kommunizieren. Denn Vielfalt zeichnet uns aus und ist eine Stärke – insbesondere in einer sich rasant wandelnden Welt.

Wie sehr komplexe globale Zusammenhänge einander beeinflussen, haben nicht zuletzt der Krieg in der Ukraine, die damit verbundene Energiekrise und die hiermit einhergehende Inflation sowie steigende Unternehmenskosten gezeigt. All dies vor dem Hintergrund einer Arbeitswelt, die aufgrund von digitaler Transformation und demografischem Wandel vor gewaltigen Umbrüchen steht. Gerade in diesen wirtschaftlich anspruchsvollen Zeiten erweist sich unser Geschäftsmodell als robust und von Vorteil, denn es bietet vor allem eines: höchste Flexibilität. Indem wir unsere Kunden gezielt im Hochtechnologie-Umfeld von Engineering und IT unterstützen, sind wir mit unseren über 2.800 Spezialistinnen und Spezialisten zudem ein wichtiger Treiber technologischer Entwicklungen.

Dabei entstehen Innovationen, die gerade in Wachstumsbranchen wie den Renewables, Life Sciences und der Future Mobility den Takt vorgeben. Daher finden sich diese Industrien auch im Themenspektrum der vorliegenden Ausgabe wieder: So arbeitet ein Forschungsnetzwerk an völlig neuen personalisierten Krebsbehandlungen (S. 16), während in Finnland die Kreation eines revolutionären Lebensmittels auf Basis von Fermentation und mithilfe von Mikroorganismen vorangetrieben wird (S. 34). Welche Kompetenzen Brunel einbringen kann, erfahren Sie zudem ab S. 22 in unserem Projektbericht zur Optimierung von Medizinprodukten. Unser Leitartikel veranschaulicht darüber hinaus, wie die Luftfahrtbranche mit alternativen Kraftstoffen und modernisierter Infrastruktur der angestrebten CO₂-Neutralität bis 2050 entgegenfliegt (S. 6).

Ein Ziel, das wir bei Brunel bereits in 2022 durch diverse Maßnahmen realisieren konnten. Denn im Rahmen unserer Strategie zur Environmental Social Governance (ESG) orientieren wir unser unternehmerisches Handeln stets an verbindlichen Nachhaltigkeitskriterien. Auch hier gilt es, Zeichen zu setzen – auch und gerade in turbulenten Zeiten.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Markus Eckhardt
Geschäftsführer



„Dank unserer Nachhaltigkeitsstrategie sind wir durch freiwillige Investments seit 2022 CO₂-neutral. Unser Ziel ist es, die Emissionen künftig so weit wie möglich herunterzufahren.“

Inhalt

Im Fokus 6

Abflug ins Grüne



Kompetenz 12

Predictive Maintenance mit Machine Learning



„Unser Ziel lautet, die Restlebensdauer von Maschinen und Einzelkomponenten genau abzuschätzen, indem die Anlagen sich selbst überprüfen.“

Dr. André Busche-Rittich, Spezialist für Künstliche Intelligenz und Machine Learning

Forschung 16

Die Zukunft der Krebsforschung

Spektrum 22

Dank Software-Testing und PCR-Geräteoptimierung gewappnet für die nächste Pandemie



„In Zeiten von Pandemien kommt es mehr denn je darauf an, Proben schnell und exakt für diagnostische Ergebnisse zu analysieren.“

Poornima Krishna Subramanian, Senior-Software-Testerin und Spezialistin für die Optimierung medizinischer Laborgeräte

Techniktrends 26

Quantenzählender Computertomograf | Präzise „Gen-Schere“ | Menschliche Organe auf dem Mikrochip

Im Dialog 28

„Die Raumfahrt zwingt uns zum Fortschritt robotischer Systeme“



Wissen 32

Das grüne Weltwunder

Vision 34

Nahrung aus fermentiertem CO₂:
Kleinste Lebewesen bewirken Großes



History 38

Der Mann, der nicht locker ließ

Kompakt 42

Eine Idee, worum es hier geht? |
Wer hat's erfunden? Der Touchscreen

Am Arbeitsplatz 44

Goldschmiede für die letzten Hundertstel



Ausblick 48

Revolution der Wetterdatenmessung

Abflug ins Grüne



Die Luftfahrt will bis 2050 klimaneutral werden. Ein entscheidender Schritt auf dem Weg zum grünen Fliegen ist es, Alternativen zum fossilen Kraftstoff zur Marktreife zu bringen. Doch das allein wird nicht ausreichen: Es braucht einen ganzheitlichen Ansatz, der auch die Infrastruktur an den Flughäfen in den Blick nimmt und die Produktion erneuerbaren Stroms mit einbezieht.

Text › Anne-Katrin Wehrmann



Elektrische oder hybrid-elektrische Kurzstreckenflugzeuge verbessern die Klimabilanz und Luftqualität. Zudem verringern sie die Lärmbelastung. Im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wird an einem solchen Flieger mit mindestens 50 Sitzen gearbeitet. Erwarteter Markteintritt ist jedoch nicht vor 2040.

Sie gilt als einer der Treiber des Klimawandels: die Luftfahrt. Über mehrere Jahrzehnte hat sie ein ungebremsstes Wachstum erlebt. Auch nach dem Einbruch durch die Coronapandemie rechnen Fachleute auf lange Sicht wieder mit stetig steigenden Passagier- und Frachtzahlen. Eine internationale Studie unter Beteiligung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) kam 2020 zu dem Ergebnis, dass die Luftfahrtindustrie einen Anteil von 3,5% an der menschengemachten Klimaerwärmung hat. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Branche ihren Anteil zum Erreichen der Klimaziele leisten muss. Die Ansätze, an denen aktuell gearbeitet wird, sind vielfältig: Da geht es um neue Flugzeugdesigns für einen reduzierten Kraftstoffverbrauch und klimaoptimierte Flugrouten ebenso wie um nachhaltige Treibstoffe (Sustainable Aviation Fuels, kurz: SAF) sowie batterie-elektrische oder wasserstoffbasierte Antriebssysteme.

Erste Anlage für solaren Treibstoff

Die schnellsten Schritte in eine grüne Zukunft lassen sich nach jetzigem Stand über SAF gehen, für deren Produktion unterschiedliche Ausgangsmaterialien und Verfahren infrage kommen – vom Bio-kerosin bis zum synthetischen Power-to-Liquid-Kraftstoff. Letzterer lässt sich aus erneuerbaren Energien, Wasserstoff und dem CO₂ aus der Umgebungsluft oder aus Industrieabgasen herstellen. Der Vorteil: Diese nachhaltigen Treibstoffe können von den heutigen Flugzeugen ohne technische Umrüstungen getankt werden. In den benötigten Mengen sind SAF derzeit noch nicht verfügbar, doch an verschiedenen Orten laufen Pilotprojekte. Eines davon setzt gerade das Schweizer Start-up Synhelion im westdeutschen Jülich um, wo kürzlich der Bau der weltweit ersten Anlage zur Produktion solarer Treibstoffe begonnen hat. Das von Synhelion entwickelte

Verfahren nutzt konzentriertes Sonnenlicht zur Herstellung von CO₂-neutralem Kerosin. Dabei fängt ein Feld von beweglichen Spiegeln Sonnenlicht ein und lenkt es gebündelt zu einem mit einem thermochemischen Reaktor ausgestatteten Turm. Dort entsteht bei Temperaturen von mehr als 1.000 °C aus Wasser sowie Methan und CO₂, das aus den Bioabfällen einer lokalen Papiermühle gewonnen wird, der Solar-treibstoff. Zunächst werden einige tausend Liter pro Jahr erzielt. Bei zukünftigen Anlagen dieser Größe in sonnigeren Gebieten sind bis zu 150.000 Liter pro Jahr möglich. Die Lufthansa Group hat eine strategische Partnerschaft mit dem Start-up vereinbart und plant, die Konzerntochter Swiss ab 2023 mit dem synthetischen Kerosin fliegen zu lassen. Mehr Zeit wird vergehen, bis grüner Wasserstoff als Antrieb für die Luftfahrt genutzt werden kann. Sowohl bei dessen





Porträt Rolf Henke

Prof. Rolf Henke (66) arbeitete viele Jahre bei Airbus und wechselte 2006 als Professor für Luft- und Raumfahrttechnik an die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen. Von 2010 bis 2020 war er im Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), von 2013 bis 2021 außerdem Präsident der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR). Seit Februar 2021 ist er Luftfahrtkoordinator des Bundeslandes Bremen.

Umwandlung per Brennstoffzelle in Strom für Elektromotoren als auch mit Blick auf direkt mit Wasserstoff betriebene modifizierte Fluggasturbinen sind noch umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Der Flugzeughersteller Airbus hat angekündigt, bis 2035 das weltweit erste emissionsfreie Verkehrsflugzeug in die Luft bringen und dabei auf Wasserstoff als Hauptenergiequelle setzen zu wollen.

Eine der größten Herausforderungen: Da Flüssigwasserstoff bei minus 253 °C gelagert werden muss und ein größeres Volumen hat als Kerosin, braucht er sehr gut isolierte Tanks und viel Platz. Der Konzern arbeitet zurzeit an drei Konzepten, die verschiedene Ansätze verfolgen und für unterschiedliche Passagierzahlen sowie Reichweiten ausgelegt sind. Um die Technologie zu testen, soll ab Ende 2026 ein umgebauter A380 mit vier im Heck installierten Wasserstofftanks und einem Testtriebwerk in die Luft gehen. Parallel will Airbus zusammen mit dem Gasehersteller Air Liquide und dem Flughafenbetreiber

VINCI Airports bis 2030 die nötige Infrastruktur für die Betankung von Flugzeugen mit Wasserstoff entwickeln. Pilotstandort ist der Flughafen Lyon Saint-Exupéry.

60.000 Solar-Panels am Groningen Airport

Dass die Luftfahrt nur dann grüner werden kann, wenn die Flughäfen die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung stellen, haben auch die Verantwortlichen am Groningen Airport Eelde früh erkannt. Dort ist mitten auf dem Gelände ein Solarpark mit mehr als 60.000 Panels entstanden, deren Stromertrag aktuell ins öffentliche Netz fließt. Weitere Solarmodule, die auf einer überdachten Passage platziert sind, erzeugen den vom Flughafen selbst benötigten Strom. Perspektivisch könnte die Sonnenenergie genutzt werden, um synthetisches Kerosin herzustellen oder E-Flugzeuge aufzuladen. Darüber hinaus setzt der Flughafen aktuell ein Projekt zur Erzeugung grünen Wasserstoffs

01–02

Das DLR-Institut für Solarforschung betreibt in Jülich zwei Solartürme sowie ein rund zehn Hektar großes Feld mit mehr als 2.000 beweglichen, Heliostaten genannten Spiegeln (02). Mit diesen wird das Sonnenlicht für die Treibstoffgewinnung gebündelt zu den Türmen gelenkt. Die Nahaufnahme (01) zeigt den Solarempfänger von Synhelion, der die notwendige Prozesswärme zur Herstellung von Solarbrennstoffen liefert.



Mit dem Ertrag der Solarmodule am Groningen Airport Eelde können aktuell etwa 6.200 Haushalte pro Jahr mit Strom versorgt werden.



Porträt Steffen Loth

Dipl.-Ing. Steffen Loth (51) hat an der Technischen Universität Berlin ein Studium in Luft- und Raumfahrttechnik abgeschlossen. Von 2003 bis 2005 arbeitete er bei der Gesellschaft für Luftverkehrsforschung, seit 2005 ist er am DLR-Institut für Flugführung in Braunschweig tätig. Dort war Loth seither Projektleiter in verschiedenen nationalen und europäischen Flughafenprojekten. Aktuell ist er Koordinator des Forschungsprojekts THOR.

um, mit dem künftig Bodengeräte versorgt werden sollen, die heute noch mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Der Groningen Airport Eelde sieht sich selbst als Testfeld und will zeigen, dass sich auch in einem herausfordernden Umfeld mit hohen Sicherheitsanforderungen nachhaltige Energie erzeugen lässt.

Dieses Engagement ist dringend nötig: Denn in der „Erklärung von Toulouse“ haben sich die Politik und die Luftfahrtindustrie Anfang 2022 zum Ziel gesetzt, den Luftverkehr in Europa bis 2050 zu dekarbonisieren und die Netto- CO₂-Emissionen auf null zu bringen. Eine einzelne allumfassende Lösung wird es dafür nicht geben: Davon ist Professor Rolf Henke überzeugt. „Vor einigen Jahren hat sich die Branche noch sehr auf das elektrische Fliegen fokussiert“, berichtet der Luftfahrtexperte. „Inzwischen haben sich mehr Alternativen aufgetan – und jede wird ihren Beitrag leisten und ihre Nische finden.“ Mit Blick auf das elektrische Fliegen erwartet Henke, dass die Batterien immer besser werden und noch in diesem Jahrzehnt erste kleine E-Flieger auf der Kurzstrecke

an den Start gehen könnten. Für Flugzeuge mit Brennstoffzelle brauche es noch einige Jahre mehr. Am meisten Forschungsbedarf gebe es aufgrund der für die Speicherung benötigten Kryotanks beim direkten Wasserstoffantrieb sowie im Kraftstoffmanagement. „Bei der Reifmachung von Technologien, die derart viel am Flugzeug ändern, geht es vor allem darum, dass sich die Akteure über die generelle Richtung einig sind.“

Auch Henke betont, dass sich die schnellsten Fortschritte mit nachhaltigen Treibstoffen erreichen ließen – wenn sie denn in ausreichenden Mengen zur Verfügung stünden. „SAF werden sicher ein Teil der Lösung sein. Allerdings hat die globale Luftfahrt vor der Coronakrise eine Milliarde Liter Kerosin pro Tag gebraucht. Da müssten jetzt in gewaltigem Ausmaß Raffinerien für synthetische Kraftstoffe gebaut werden, um den Bedarf auch nur annähernd zu decken.“ Er gehe davon aus, dass in der Zukunft ein Werkzeugkasten mit unterschiedlichen Optionen zur Verfügung stehen werde: „Jedes Flugzeug bekommt dann den Antrieb und den Energiespeicher,

den es für einen optimalen Betrieb braucht. Darauf müssen sich dann auch die Flughäfen mit einer entsprechenden Infrastruktur einstellen – und in einem Zwischenschritt erst einmal dafür sorgen, dass sie selbst klimaneutral werden.“

Roadmap für emissionsfreie Flughäfen

Wie das am besten funktionieren kann, untersucht das DLR in den kommenden drei Jahren im Rahmen des Forschungsprojekts THOR, das eine Roadmap hin zu einem emissionsfreien Flughafen entwickeln und zugleich eine Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie schaffen soll. „Auf dem Weg in eine grüne Zukunft sind die Flughäfen unterschiedlich weit“, berichtet Steffen Loth vom DLR-Institut für Flugführung. „Fakt ist: Es ist inzwischen überall im Bewusstsein angekommen, dass dieses Thema künftig eine

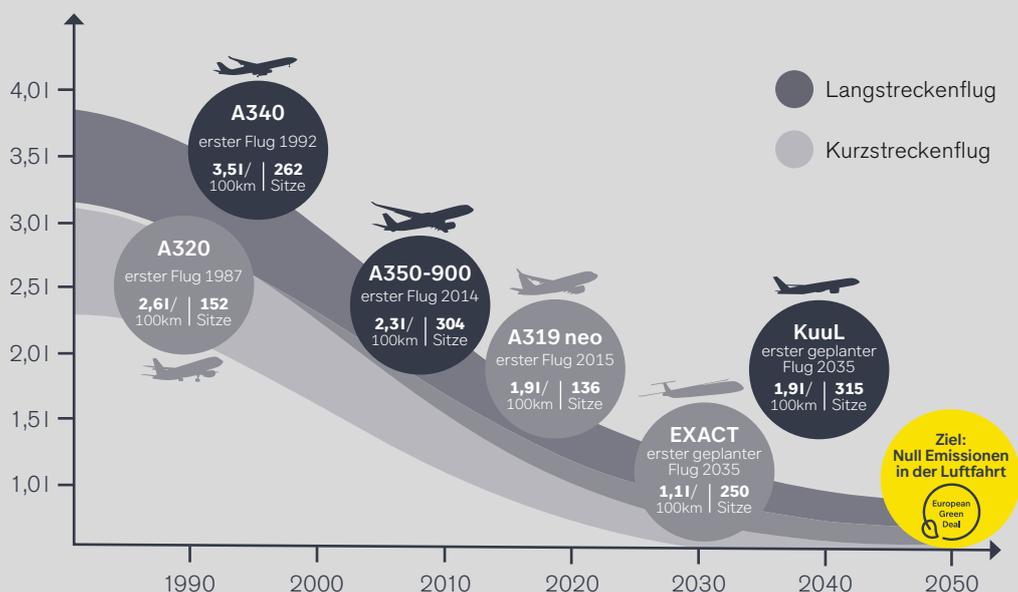
noch größere Bedeutung haben wird.“ Was genau auf die einzelnen Flughäfen zukomme, lasse sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht konkret sagen. „Die Luftfahrzeugseite erforscht gerade, welche Antriebsarten in Zukunft zum Einsatz kommen sollen. Wahrscheinlich werden von dort bestimmte Anforderungen an die Airports gestellt werden.“ Denkbar sei, dass sich Flughäfen mit ihrer Infrastruktur auf bestimmte Antriebsarten spezialisieren: „Es wird sich dann Schritt für Schritt und sehr flughafenspezifisch herauskristallisieren, wer was wie umsetzt.“

Wie viel Energie wird wann und wo am komplexen System Flughafen benötigt? Was bedeutet das für die Infrastruktur und für die Betriebsprozesse bei der Abfertigung von Flugzeugen, Passagieren und Fracht? Welche Lösungen haben welches Einsparpotenzial und welche Wechselwirkungen? Noch gibt es auf all diese Fragen keine eindeutigen Antworten. „Wir brauchen ganzheitlich angelegte Projekte wie THOR, um

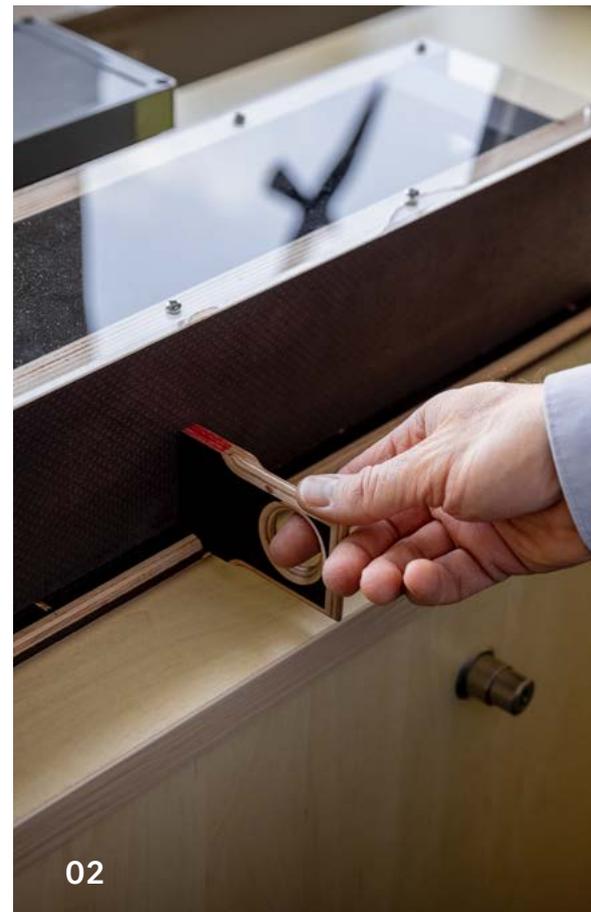
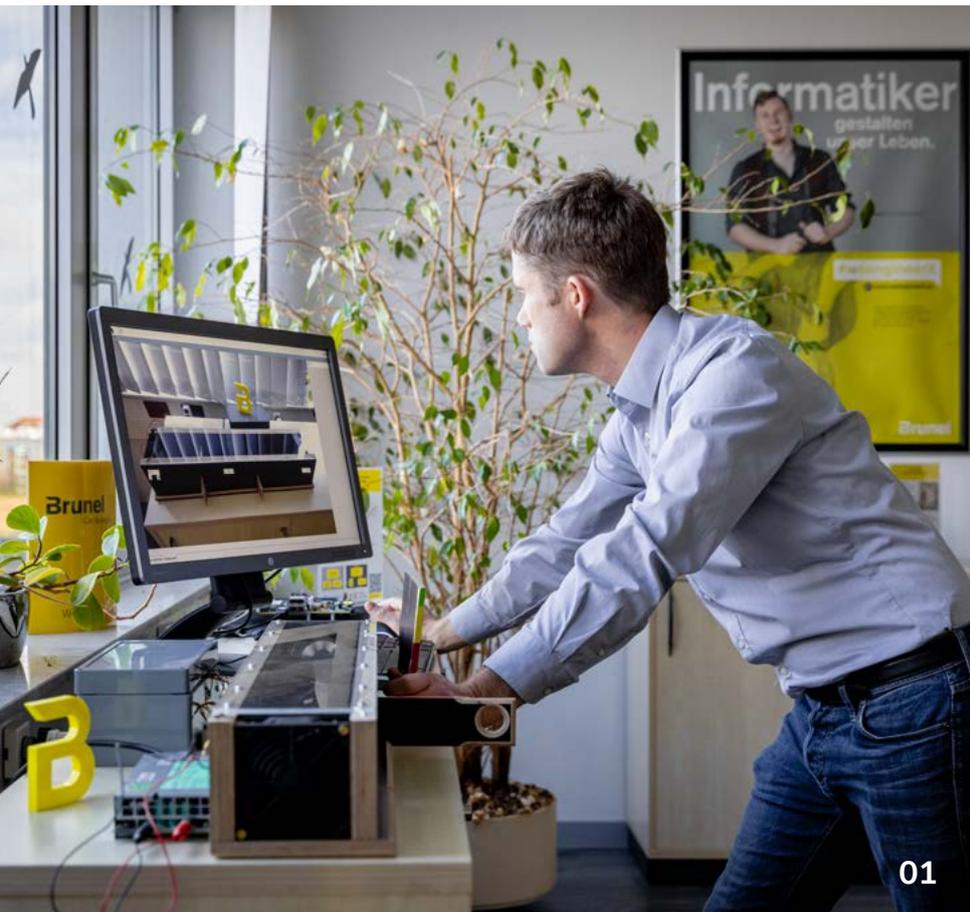
da mehr Klarheit hineinzubekommen“, meint Steffen Loth. Darüber hinaus sei es wichtig, an Pilotstandorten theoretische Konzepte auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen, wie es in Groningen und Lyon derzeit schon geschehe. Die Umsetzung von der Theorie in die Praxis ist auch für Professor Henke ein entscheidender Faktor, wenn die grüne Wende gelingen soll. „Egal, von welcher Antriebsart wir reden: Wir müssten viel mehr Reallabore haben und die neuen Technologien endlich testweise in die Luft bringen“, betont der Experte. Dafür brauche es den politischen Willen, schnellere Zulassungsverfahren und eine entsprechende Förderlandschaft. Henke: „Eine Luftfahrtagentur nach dem Vorbild der deutschen und europäischen Raumfahrtagentur wäre ein wichtiger Schritt, um gezielt Dinge nach vorn zu bringen. Wenn wir schnell weiterkommen wollen, müssen wir jetzt etwas anders machen.“

Treibstoffverbrauch

(umgerechnet in Kerosin in Liter pro Sitz pro 100 km)



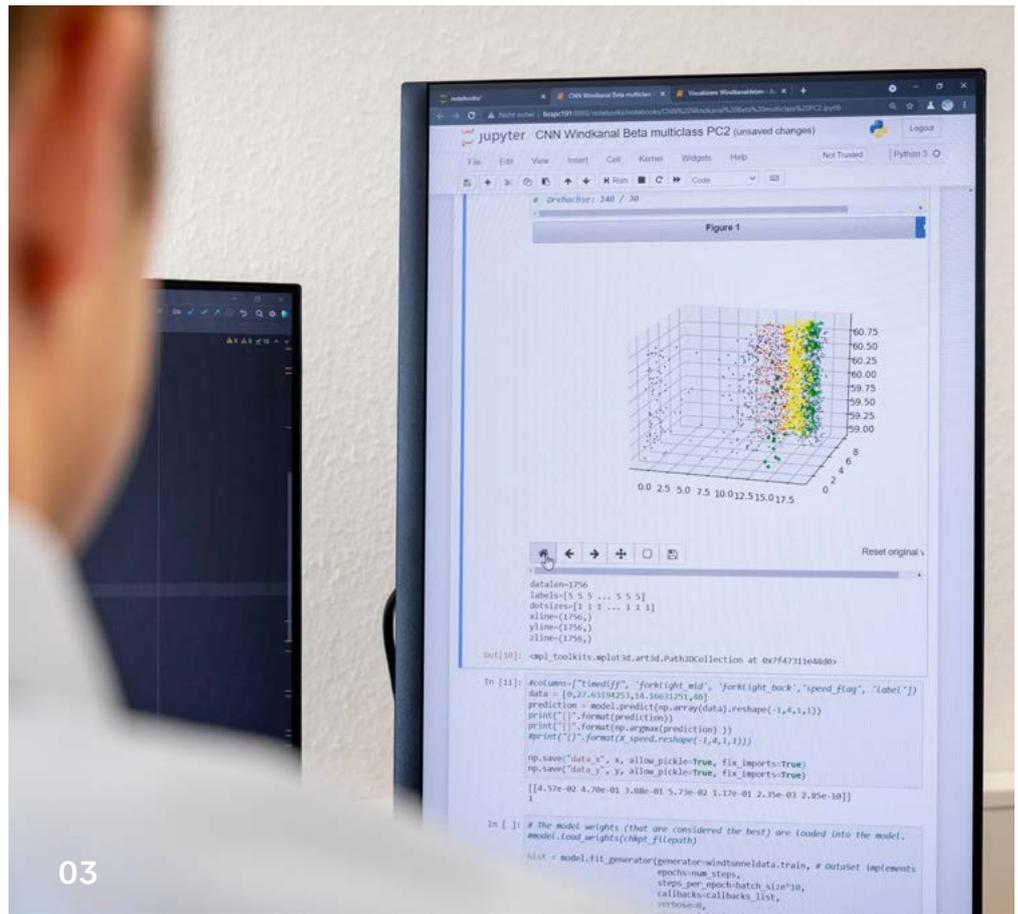
In den letzten Jahrzehnten sind die Emissionen des Luftverkehrs pro Sitz und 100 km Strecke kontinuierlich gesunken. Die im Rahmen der DLR-Programme EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies) und KuuL (Klimafreundlicher ultra-effizienter Langstreckenflug) neu entwickelten Konzepte versprechen weitere Einsparungen. Klares Ziel des DLR ist die emissionsfreie Luftfahrt.



Predictive Maintenance mit Machine Learning

Die Zeit nagt auch an teurer Technik. Gerade bei komplizierter Wartung ist es deswegen wichtig, genau zu wissen, wann etwas kaputtgeht – und Mitarbeitende nur dann zur Wartung einzusetzen, wenn sie benötigt werden. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz bietet Brunel Car Synergies allen Kunden eine Lösung zur Predictive Maintenance an, welche die Reparaturzyklen von Maschinen verändern wird.

Text › Jonathan Fasel



Künstliche Intelligenz (KI) ist, etwa in Form von Smartphones, längst in unseren Hosentaschen angelangt: Mittels Gesichtserkennung entsperren wir Geräte oder lassen uns Musik, Videos und Texte auf Basis unserer Vorlieben vorschlagen. „Wenn mein Gesicht nicht auf Anhub erkannt wird, ist das kein Problem“, erklärt Dr. André Busche-Rittich. „Künstliche Intelligenz geht immer von einer Wahrscheinlichkeit aus.“ Der KI-Forscher arbeitet seit eineinhalb Dekaden mit Methoden des Maschinellen Lernens und ist seit 2013 bei Brunel Car Synergies am Standort Hildesheim beschäftigt. Hier forschen und entwickeln 80 Menschen im Bereich Embedded

Systems – Produkte aus Hard- und Software – und liefern Lösungen für europäische Unternehmen aus der Agrar- und Bahntechnik, der Medizinbranche oder auch dem Sektor rund um erneuerbare Energien. Wie kann Künstliche Intelligenz sinnvoll in der Industrie eingesetzt werden? Um diese Frage dreht sich der Schwerpunkt von Dr. Busche-Rittichs Arbeit. Tatsächlich gar nicht so einfach, denn: „Bei industriellen Maschinen muss alles funktionieren und reibungslos ineinandergreifen. Da sind Wahrscheinlichkeiten keine idealen Voraussetzungen.“ In Bereichen, in denen KI jedoch nicht in Konflikt zu Kernanforderungen der Maschinen steht, kann ihr Einsatz aber

01–03

Dr. André Busche-Rittich vor seinem selbst entwickelten Demonstrator eines Windkanals zur Luftstrommessung (01). Von außen stört er den Windstrom mittels eines Schiebers (02). Sensoren erfassen diese Veränderungen, die sich auch grafisch in einer mehrdimensionalen Datenkugel darstellen lassen: Grüne Datenpunkte zeigen einen normalen Luftstrom, rote einen kritischen Zustand (03).



Porträt André Busche-Rittich

Dr. André Busche-Rittich (40) promovierte an der Universität Hildesheim im Bereich Machine Learning zum Thema automatisierte Erkennung geometrischer Strukturen in Bilddaten und medizinischen Daten. Seit Januar 2013 arbeitet er bei Brunel Car Synergies am Standort Hildesheim und entwickelt dort datengetriebene Lösungen für die Industrie – mit Schwerpunkt Künstliche Intelligenz und Machine Learning.

durchaus einen datengetriebenen Zusatznutzen leisten. Nach sorgsamem Überlegungen entschloss sich das Team um Dr. Busche-Rittich für das Feld der Predictive Maintenance – also der vorausschauenden Wartung. „Die meisten industriellen Maschinen verfügen über eine Menge Sensoren“, erklärt er. „Dort setzen wir an, sammeln so viele Daten wie möglich, interpretieren sie mithilfe von KI und schaffen auf diese Weise einen Mehrwert.“ Nämlich den, die Restlebensdauer von Maschinen und Einzelkomponenten genau abzuschätzen. Was erst einmal unspektakulär klingt, bringt langfristig eine Menge Vorteile. Denn dank Predictive Maintenance ist Schluss mit starren Wartungsintervallen. „Das Ziel ist, dass sich die Maschinen selbst prüfen“, erklärt Busche-Rittich. „Im ersten Schritt messen sie kontinuierlich Kennzahlen – beispielsweise, ob es genug Öl im Lager gibt.“ Die erhobenen Daten können sich über alle erdenklichen Aspekte erstrecken – von Resonanzschwingungen über Stromfluss, von Temperaturen über Drücke bis hin zum tatsächlichen Ausfall.

Optimierte Ressourcen, besserer Service

Im zweiten Schritt kommt die Künstliche Intelligenz ins Spiel. Sie gleicht diese Daten permanent ab – unter anderem mit gelernten Grenzwerten und Kombinationen, an denen etwas zu Bruch ging. Gleichzeitig beobachtet die KI den Trend der Werte: Wie lange geht es bei der aktuellen Entwicklung noch gut, bis die Grenzwerte erreicht sind? Auf diese Weise lassen sich notwendige Wartungen nicht erst erkennen, wenn sie unabdingbar werden. Mitarbeitende können frühzeitig planen, wie und wann sie welche Maschinen auf Vordermann bringen müssen. Gerade bei Maschinen wie beispielsweise Windkraftanlagen, die offshore installiert sind, kann ein riesiger Mehrwert entstehen. „Stellen Sie sich vor, ein Dichtungsring hält der salzhaltigen Luft auf See nicht 100-prozentig stand – das können Sie frühzeitig daran erkennen, dass sich der Reibungswiderstand des Getriebes unvorhergesehen ändert.“ Mithilfe von Predictive Maintenance lässt sich nun noch zusätzlich abschätzen, wann das geschädigte Getriebe den kritischen Bereich erreicht und droht kaputtzugehen.

„Predictive Maintenance ist das Interesse an der Tendenz zum Schlechten“, fasst Dr. Busche-Rittich zusammen. Unternehmen können nun den idealen Zeitpunkt der Wartung abwarten – und beispielsweise Wartungstermine bündeln. Anstatt drei Fahrten auf das Meer für drei unterschiedliche Anlagen durchzuführen, erledigt das Techniker-Team alle drei Wartungen auf einen Schlag. „Dadurch verringere ich die Wartungs- und Personalkosten pro Anlage spürbar“, erklärt Dr. Busche-Rittich. Letztendlich hilft Predictive Maintenance also, Ressourcen besser einzusetzen. Der KI-Forscher betont: „Es geht nicht darum, Personal einzusparen, sondern die Technikfachkraft dabei zu unterstützen, besseren Service zu bieten und einen größeren Gerätepool zu betreuen.“



Bei Predictive Maintenance und KI geht es stets um Hypothesen. Trotz aller Digitalität nehmen die Bruneller:innen in Hildesheim auch mal einen Stift zur Hand und modellieren verschiedene Szenarien.



Busche-Rittich ist als promovierter Informatiker und Spezialist für Maschinelles Lernen neben der Datenanalyse und Software-Programmierung auch für die enge Abstimmung im Team verantwortlich.

Transfer Learning als Herausforderung

Um den Algorithmus zu befähigen, muss er mit Daten gefüttert werden – solchen, die der KI sagen, wo die Grenzen eines Bauteils oder einer Maschine liegen. „Das heißt eigentlich: kaputt machen“, so der gebürtige Hildesheimer. Um nicht tausende teure Maschinen zu zerstören, arbeitet das Team mit einem anderen Prinzip. „Ich kann die Maschine durch die KI an bestimmte Grenzen fahren lassen und ihr dann sagen: Stopp, das Bauteil geht bald kaputt.“ Auf diese Weise entsteht eine mehrdimensionale Datenkugel, die zum Beispiel aus grünen und roten Datenpunkten besteht. Diese definieren jeweils einen Gut- oder

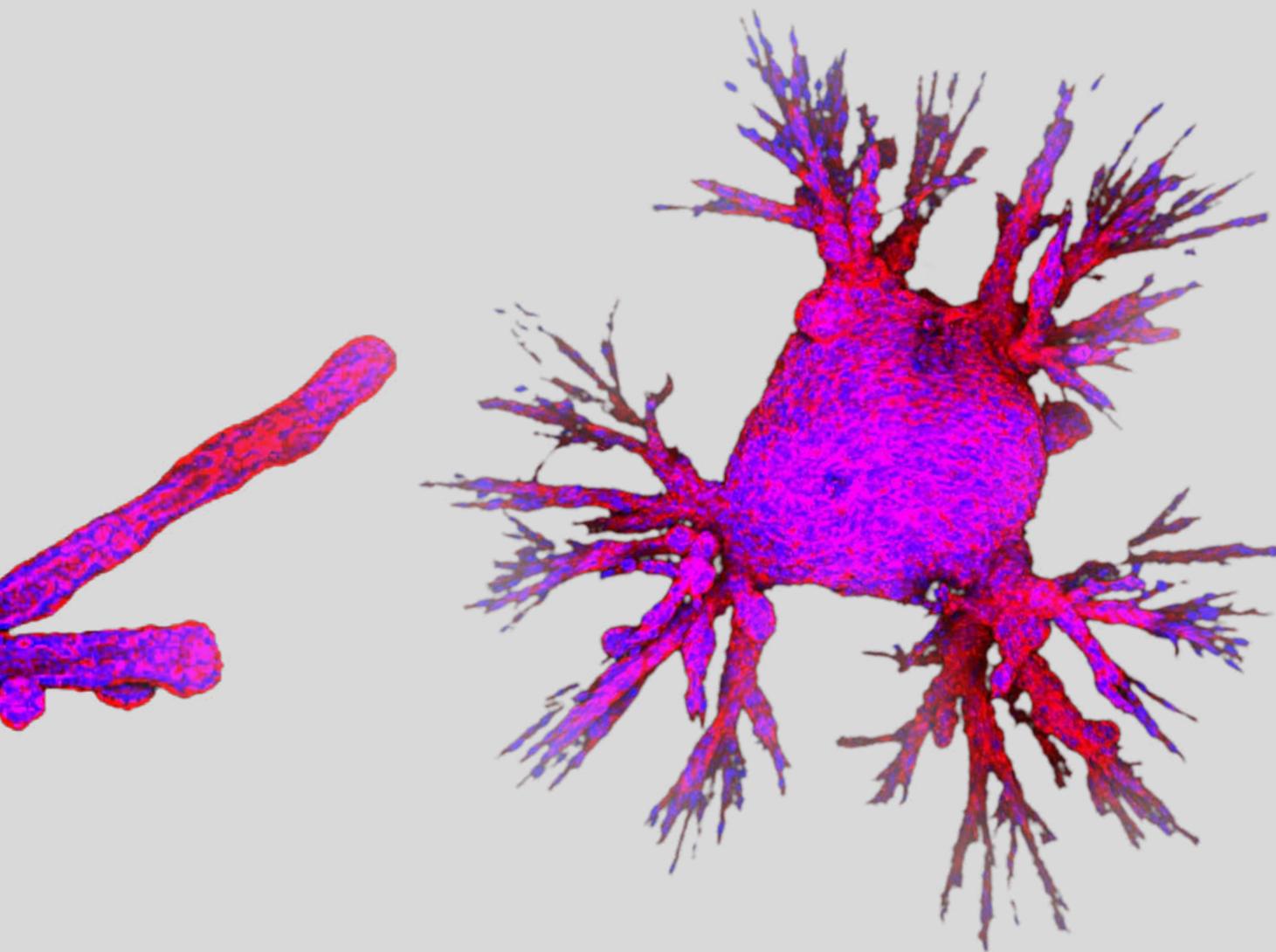
einen Schlecht-Zustand. „Wichtig ist es dann, Trends aus Zeitreihen zu erstellen. Denn ich möchte nicht nur wissen, dass etwas kaputtgeht, sondern abschätzen können, wann.“ Idealerweise werden die Daten ständig erweitert – durch die Maschinen im Einsatzfeld.

Um die Technologie greifbar zu machen, entwickelte Dr. Busche-Rittich einen Windkanal als Referenzprojekt zum Anfassen – einen Demonstrator. „Er besteht aus einem Lüfter auf der einen Seite, den ich in der Geschwindigkeit variieren kann“, erklärt er. „In einem freien System strömt die Luft in einer bestimmten Geschwindigkeit hindurch. Doch was passiert, wenn ich den Luftstrom blockiere oder von außen störe? Dann zeigen Sensoren dies an – und die KI berechnet den Trend der Veränderung.“

Allerdings sei die Machine-Learning-Technologie weiterhin stark anwendungsbezogen, unterstreicht Dr. Busche-Rittich die aktuellen technologischen Grenzen: „Unsere KI-Modelle sind zwar äußerst hilfreich, zugleich aber auch ‚Fachidioten‘, die eigentlich nicht wissen, was sie tun.“ Dadurch lassen sie sich nicht von einer Maschine auf eine andere übertragen – teilweise sogar dann nicht, wenn es sich um dieselbe Aufgabe an einer anderen Maschine handele. „Sobald ich die Art der Sensordaten ändere, nimmt der Lernprozess wieder Zeit in Anspruch.“ Dieses Transfer Learning ist die nächste große Herausforderung der KI-Forschung. Künstliche Intelligenz steckt zwar in unseren Hosentaschen, aber dennoch in den Kinderschuhen.



Hier zu sehende Organoid, künstlich hergestellte Minitumoren mit individuellen Verästelungen und Hohlräumen, organisieren sich selbst zu Zellstrukturen, die denen des Ursprungsorgans ähneln. An ihnen lassen sich Medikamente auf ihre Wirkung testen – für eine personenbezogene Diagnostik.



Die Zukunft der Krebsforschung

Krebs ist nicht gleich Krebs: Jeder Fall entwickelt eine eigene Dynamik. Das Forschungsnetzwerk SATURN3 leuchtet die Krankheit nun in einer bisher ungeahnten Tiefe aus, um anhand von personalisierter Behandlung und mithilfe des Immunsystems alle Krebsarten zu besiegen. Damit könnten in Zukunft völlig neue Behandlungsansätze möglich werden.

Text › Jonathan Fasel

Krebs ist in Deutschland die zweithäufigste Todesursache. Jedes Jahr erkranken immer noch eine halbe Million Menschen daran. Einer der Gründe: Beinahe jeder Krebs ist einzigartig – und jedes dieser Krebsgeschwüre entwickelt sich stetig weiter. Forschende aus 13 Einrichtungen in ganz Deutschland verfolgen nun gemeinsam das ambitionierte Ziel, das Geheimnis der ständigen Krebsmutationen zu entschlüsseln. „Der initiale Impuls zu unserem Projekt entwickelte sich spontan in einer Telefonkonferenz mit Jens Siveke, Professor für Translationale Onkologie an der Universität Essen, und Andreas Trumpp, der grundlagenwissenschaftlich orientierter Professor am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg ist“, erinnert sich Wilko Weichert, Professor für Pathologie an der Technischen Universität München. „Wir hatten die Idee für ein Programm, das entschlüsselt, warum manche Tumoren von Anfang an nicht oder im Verlauf nicht mehr auf bestimmte Behandlungen reagieren. Und wir wollten herausfinden, mit welchen Mitteln man die Tumoren letztlich dennoch zerstören kann“, erklärt Prof. Weichert, selbst Spezialist für Gewebsentwicklung. Er war sofort Feuer und Flamme, denn er erkannte das Potenzial der Forschungsfrage.

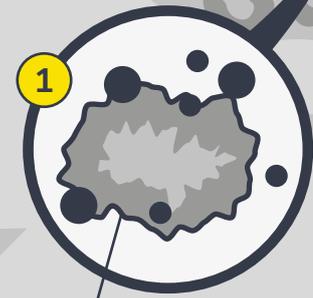
Am Projekt namens Saturn3 nehmen viele der führenden Krebspezialist:innen aller möglichen Fachrichtungen in Deutschland teil. „Wir kannten uns alle bereits – es lag auf der Hand, dass wir unsere Kompetenzen verknüpfen“, berichtet Prof. Weichert. Durch die breite Expertise der Teilnehmenden könne so die gesamte Forschungskette abgedeckt werden – von der Theorie über Empirie und klinische Studien bis hin zur Entwicklung neuer Behandlungsstrategien. Ziel des Forschungsteams ist es, die zeitliche und räumliche Entwicklung eines Tumors im Verlauf und insbesondere während einer Behandlung genau zu beobachten und zu verstehen. „Wir schauen uns nicht nur den primären Tumor an, so wie es im Moment oft gemacht wird. Wir fokussieren uns auch auf die lokale Heterogenität, wenn es also besonders viele verschiedene Tumorzellen

gibt, die sich wiederum völlig unterschiedlich transformieren können“, erklärt Prof. Weichert. Damit versucht das Team von Saturn3, den Tumorveränderungen und Metastasen vorzubeugen. Der Krebs soll so keine Möglichkeit mehr haben, eine Route einzuschlagen, auf der er der Behandlung entkommt. Das gilt besonders dann, wenn die Heterogenität sehr ausgeprägt ist. Auf drei Krebsarten – die auch hierzulande zu den tödlichsten gehören – konzentriert sich Saturn3 vor allem: Darm-, Bauchspeicheldrüsen- und aggressiver Brustkrebs. Sie sind aktuell noch schwierig zu behandeln und betreffen besonders viele Menschen. „Der Tumor ist wie ein lebendes Wesen. Er

vollzieht eine Evolution in Windeseile“, sagt der Krebsforscher. „Wir forschen daran, wirklich alle Bausteine des Tumors gleichzeitig richtig zu adressieren.“ Würde das gelingen, könnte das Leben mancher Erkrankter nicht nur verlängert, sondern die Erkrankung teils sogar ganz geheilt werden.

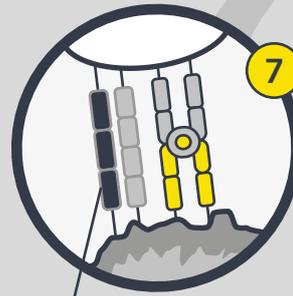
Das Immunsystem im Kampf gegen Krebs

1 Krebszellen setzen sogenannte Krebs-Antigene frei.



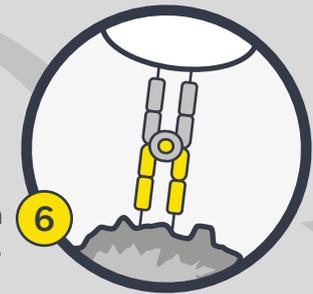
Krebszelle

Der Kreislauf beginnt von vorne.



Ko-Stimulatoren zur Aktivierung der T-Zelle

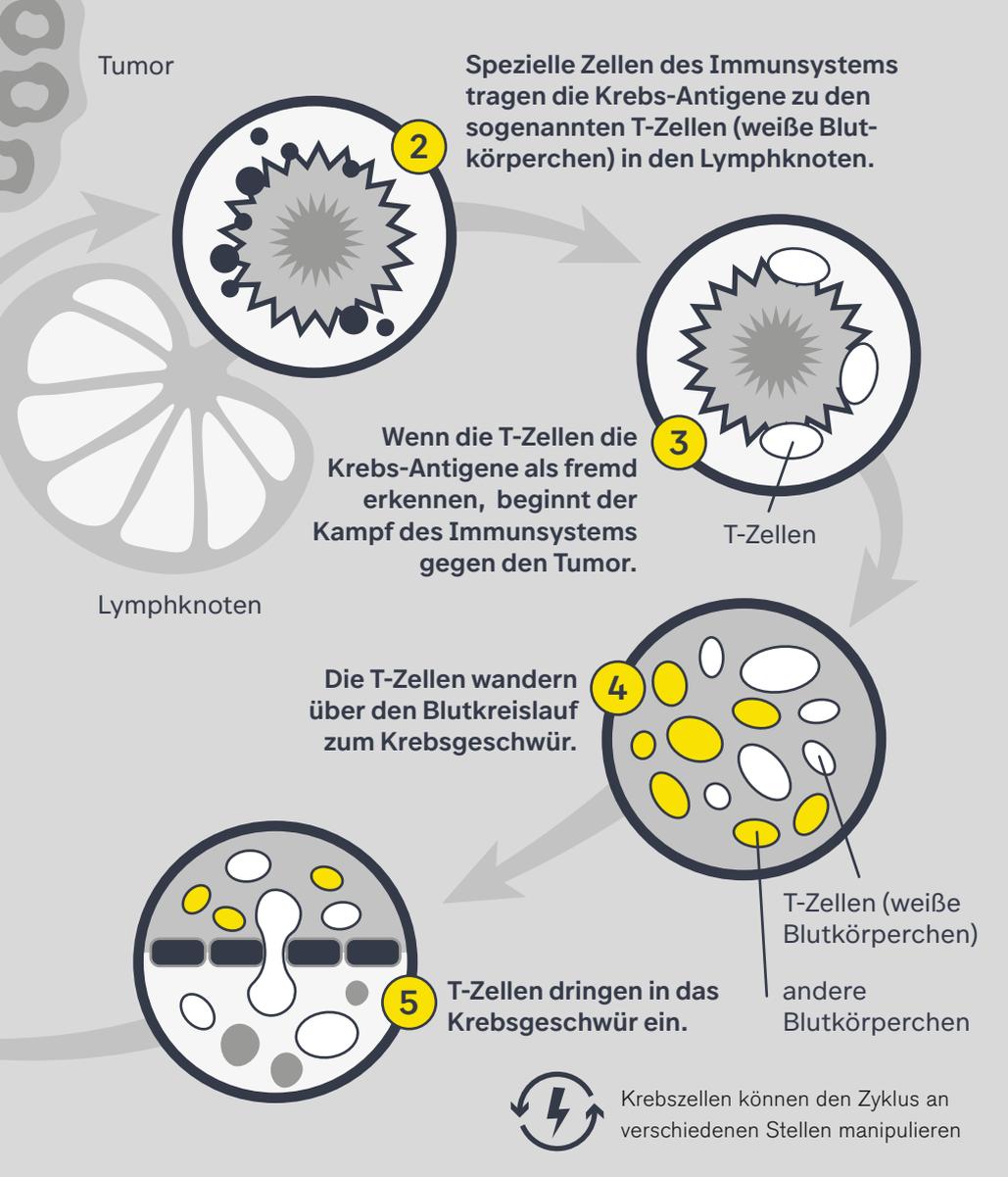
6 Die T-Zellen lösen die Zerstörung der Krebszellen aus. Dadurch werden neue Krebs-Antigene freigesetzt.



6 Sie erkennen die Krebszellen anhand der Antigene.

Mutierte Antigene als Fremdkörper

Mit ihrem Projekt liegen die Forschenden ganz im Trend zur personalisierten Medizin. Bei diesem Ansatz wird nach einem Schlüssel-Schloss-Prinzip gearbeitet, also



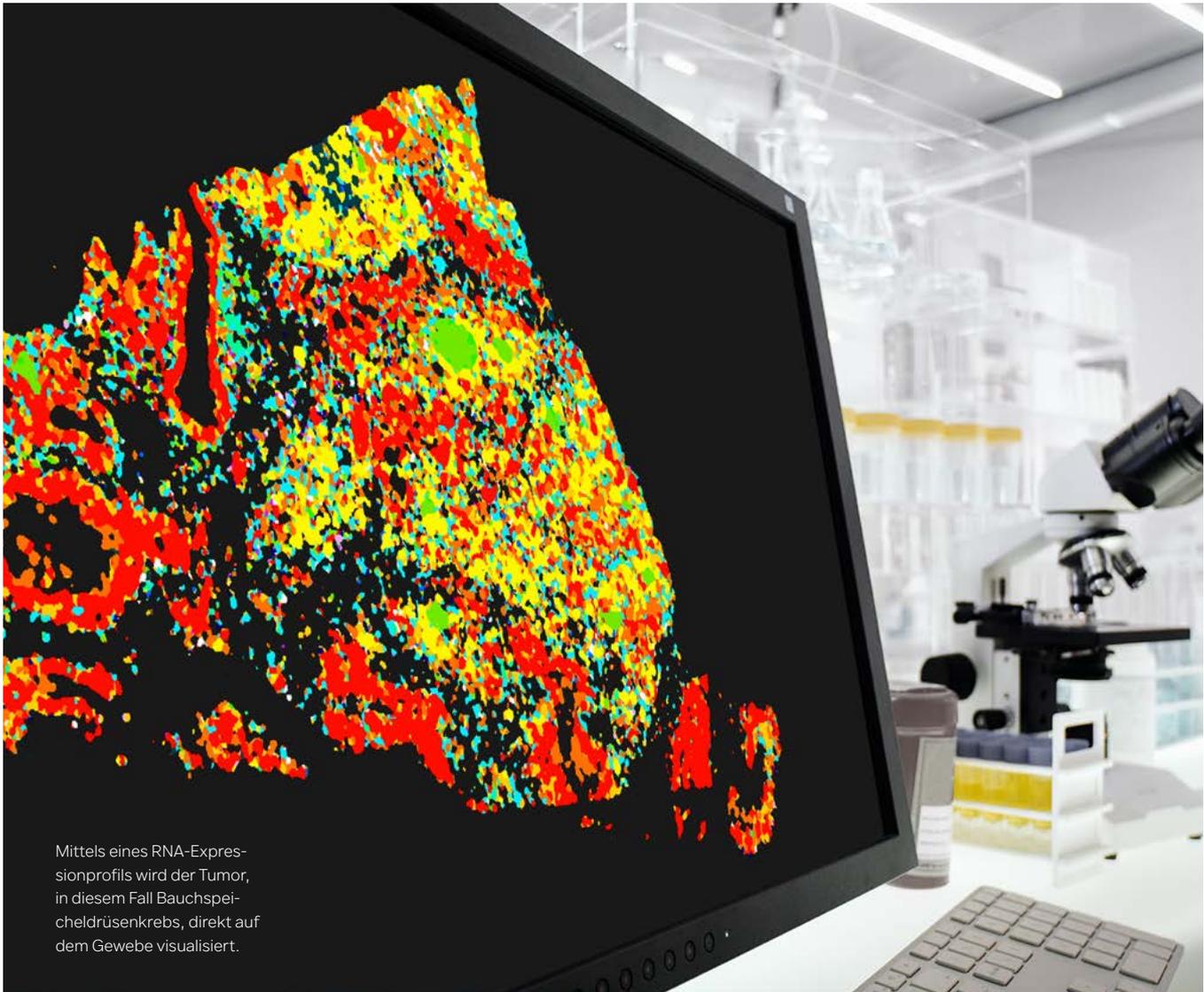
Porträt Wilko Weichert

Prof. Dr. Wilko Weichert (52) ist Co-Koordinator des interdisziplinären Forschungsnetzwerks Saturn3. 2010 wurde er an das Nationale Centrum für Tumorerkrankungen berufen, seit 2015 lehrt er Pathologie an der Technischen Universität München. Er ist Mitglied des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Pathologie und gewählter Fachkollegiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Zudem ist er Berater der Europäischen Arzneimittelbehörde.

eine individualisierte und effizientere Medikamenten- und Therapiekombination für jeden Menschen gesucht. Was nicht funktioniert, soll den Erkrankten von vornherein erspart bleiben. Denn Bestrahlung oder Chemotherapie sind toxisch und bringen schwere Nebenwirkungen mit sich. Um die Behandlung von Krebs zu personalisieren, bedarf es zweierlei: Im ersten Schritt muss das Schloss definiert, also der Tumor genau verstanden werden. Erst dann wird nach dem Schlüssel, also nach einer funktionierenden Behandlung gesucht. Für ersteres können molekulare Charakteristika erhoben werden. Das geschieht zum Beispiel, indem das Genom oder das Proteinprofil

des Tumors durch eine Gewebeentnahme und eine anschließende Analyse ermittelt wird. Eine andere Möglichkeit sind bildgebende Verfahren. Der Tumor wird dabei nicht nur einmal untersucht, sondern regelmäßig im Verlauf der Therapie. Der zweite Schritt, die Behandlung, ist aktuell die große Herausforderung: „Wir sind schon recht gut in der Charakterisierung des Schlosses, aber finden oft den richtigen Schlüssel noch nicht. Und wir können noch nicht genügend adressieren, was das Wachstum des Tumors zu jedem Zeitpunkt auslöst“, erläutert Prof. Weichert. „Wir brauchen eine Therapie, die auch die molekularen Veränderungen einbezieht. Das kann auch eine Kombination von

Behandlungsmethoden sein, die je nach Entwicklung des Tumors variieren. Und manchmal muss eine passende Therapie erst noch entwickelt werden.“ Innerhalb der personalisierten Medizin gewinnt in der Onkologie vor allem die sogenannte Immuntherapie an Bedeutung. Hierbei wird das Immunsystem genutzt, um Tumoren zu attackieren. Seine Ertüchtigung kann künstlich erfolgen, indem Immunzellen entnommen und modifiziert werden. „Eine andere Herangehensweise ist es, neue Interaktionsflächen zwischen Tumor und Immunsystem zu schaffen. Damit wird das Immunsystem bei der Tumorbekämpfung unterstützt“, erklärt Prof. Weichert. Den Betroffenen werden



Mittels eines RNA-Expressionsprofils wird der Tumor, in diesem Fall Bauchspeicheldrüsenkrebs, direkt auf dem Gewebe visualisiert.

sogenannte Checkpoint-Inhibitoren verabreicht. Diese Medikamente blockieren Mechanismen, die Tumoren entwickelt haben, um das Immunsystem abzuschalten beziehungsweise um sich vor ihm zu verstecken. „Wir wissen, dass Tumoren mit einer hohen Mutationslast gut auf die Therapie ansprechen“, so der Krebspezialist. „Durch Mutationen entstandene neue Antigene scheinen hier eine Rolle zu spielen. Diese werden nämlich vom Immunsystem als fremd erkannt und läuten so die Attacke der Immunzellen auf die Tumorzellen ein.

Einsatz von Künstlicher Intelligenz

Auch bei Tumoren mit Proteinen, die den Krebs vor dem Immunsystem tarnen sollen, spricht die Immuntherapie besonders gut an.“ Im Rahmen von Saturn3 nutzen die Forschenden eine Mischung aus etablierten Methoden und neuester Technologie, um Ergebnisse zu interpretieren. „Neben Hightech zur Gewebsgewinnung

und -aufarbeitung setzen wir auf unterschiedliche Methoden zur Analyse des Erbguts und weiterer biologischer Eigenschaften von Tumoren. Dazu zählen DNA- sowie mRNA-Sequenzierung, die Adressierung von Methylierungsmustern und die breite Proteomanalytik“, sagt Prof. Weichert. „Auf diese Weise fügen wir ein Gesamtbild der Biologie von Tumorentwicklungen zusammen.“

Um in der Komplexität versteckte zusätzliche Aspekte aus den erhobenen Daten zu

finden, setzt das Team von Saturn3 auch auf die Hilfe von Künstlicher Intelligenz. So sollen molekulare tumorrelevante Veränderungen besser verstanden werden. „Anschließend müssen dann aus unseren Ergebnissen Untersuchungsmethoden entwickelt werden, die auch an großen Mengen von Erkrankten angewendet werden können.“ Die personalisierte Medizin sowie die Ansätze der Immuntherapie sind eng verknüpft mit dem Trend, verstärkt interdisziplinär zu arbeiten – etwa in Tumorboards, bei denen alle relevanten Disziplinen über die weitere Behandlung eines Falls entscheiden. Saturn3 kann auf Informationen aus zahlreichen Tumorboards aus ganz Deutschland zurückgreifen.

Heilungserfolge in einigen Jahren

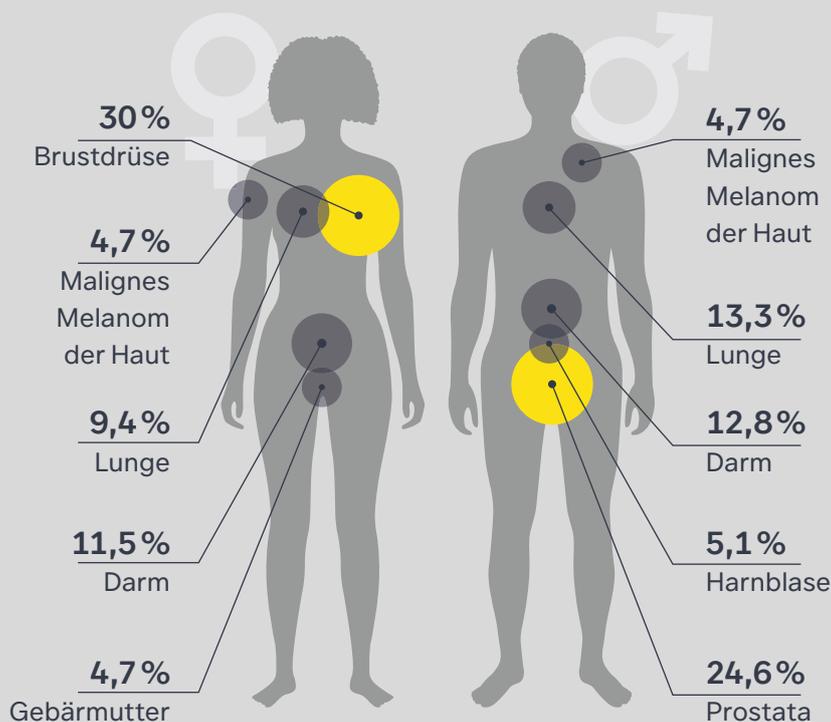
Aus diesen rekrutiert das Team auch Betroffene mit Tumoren, die für die Krebsforschungsprogramme der Zukunft im Fokus stehen. Dabei sorgen heutige Erkenntnisse nicht unmittelbar für Heilung der aktuell Erkrankten. „Aber es wird in fünf bis zehn Jahren unseren Patient:innen helfen. Allein durch dieses Wissen ist vielen Krebserkrankten die Teilnahme an unserem Programm oft sehr wichtig. Sie werden zukünftig anderen Menschen mit Krebsdiagnose eine verbesserte Behandlungs- und Heilungschance ermöglichen“, sagt Prof. Weichert. Noch steht das Forschungsnetzwerk am Anfang. Zurzeit bauen die Initiierenden die Infrastruktur auf und konzeptionieren Untersuchungsketten, über die dann später die erhobenen Daten der Erkrankten verarbeitet werden. Das Ziel für das erste Jahr lautet: Verstehen und Charakterisieren. Die Hoffnung ist, dass in den kommenden Jahren bereits neue therapeutische

Maßnahmen entwickelt und einer Vielzahl von Betroffenen zugänglich gemacht werden können. Die Herausforderung: Methoden zu finden, die bei möglichst vielen Menschen funktionieren. „Wir arbeiten zum Beispiel auch an bildgebenden Verfahren. Dann müssen wir uns nicht ausschließlich auf die Gewebeentnahme konzentrieren und können beide Techniken – Bildgebung und molekulare Gewebsuntersuchung – kombinieren. Außerdem schauen wir uns molekulare Veränderungen mithilfe von Blutanalysen

an“, fasst Prof. Weichert zusammen und unterstreicht: „Die Arbeit an unterschiedlichen Arten von Tumoren erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass wir etwas finden, das bereits sehr zeitnah angewendet werden kann.“ Mit dem interdisziplinären Ansatz bei Saturn3 sollen die identifizierten therapeutisch relevanten Prinzipien auch für andere Tumoren nutzbar werden. „So können wir schneller raus aus der Theorie und rein in die Praxis, um den betroffenen Menschen zu helfen.“

Die häufigsten Krebsarten in Deutschland

Geschätzter Anteil von Tumorarten an allen Krebs-Neuerkrankungen*

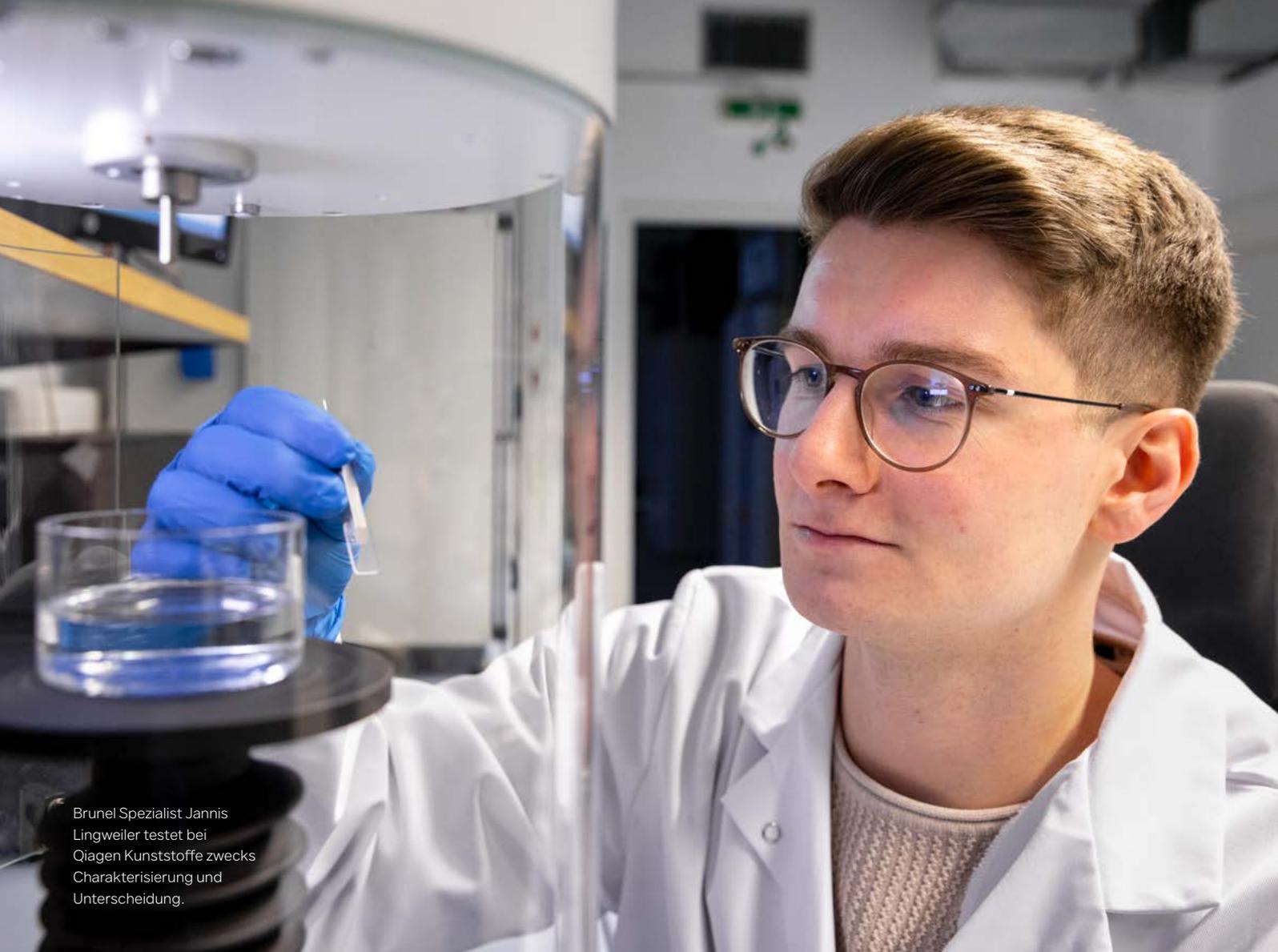


Gesamtzahl der Neuerkrankungen

232.720

265.160

* Stand: 2018



Brunel Spezialist Jannis Lingweiler testet bei Qiagen Kunststoffe zwecks Charakterisierung und Unterscheidung.

Dank Software-Testing und PCR-Geräteoptimierung gewappnet für die nächste Pandemie

Jannis Lingweiler und Poornima Krishna Subramanian arbeiten bei Qiagen. Ihre Aufgabenbereiche unterscheiden sich grundlegend. Beide eint jedoch der Wunsch, Produkte für Medizin und Forschung zu verbessern. In Zeiten globaler Pandemien eine Herausforderung, die zu außergewöhnlichen Situationen führen kann.

Text › Jonathan Fasel

Die Polymerase-Kettenreaktion, kurz PCR, war bis Mitte 2020 nur einem begrenzten Kreis von Menschen geläufig. Heute kennen fast alle PCR-Tests, mit denen Krankheiten sich durch die Vervielfältigung von Erbgut nachweisen lassen. Senior-Software-Testerin Poornima Krishna Subramanian und Laborant Jannis Lingweiler arbeiten für Brunel bei der Qiagen GmbH in Hilden nahe Düsseldorf. Dort tragen beide mit ihrer Expertise zur stetigen Verbesserung von PCR-Systemen bei – etwas, das sie sich vor ein paar Jahren nicht hätten träumen lassen.

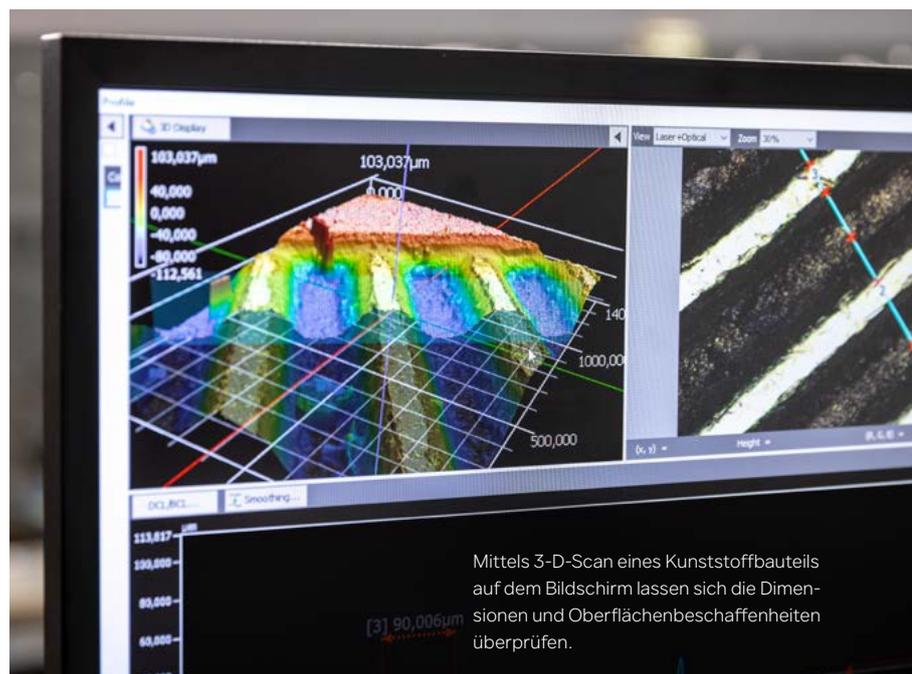
Flüssigkeit in kleinsten Kanälen

Heute schon können Forschende mithilfe einer einfachen Abwasseruntersuchung feststellen, ob viele Menschen in einer Stadt an Corona erkrankt sind. Möglich macht das die digitale PCR. Jannis Lingweiler sorgt dafür, dass die Systeme für diese sensitive Technologie weiter optimiert werden – denn die Probe muss sich für präzise Ergebnisse in feinsten Kanälen optimal verteilen. „Die Mikrotiterplatten in den PCR-Geräten werden mit einem komplexen Fertigungsverfahren hergestellt und stetig weiterentwickelt“, erklärt der 28-Jährige. „Mikrofluidik behandelt die Frage, wie sich eine Flüssigkeit verhält, die durch extrem kleine Kanäle hindurchfließt.“ Mit bloßem Auge lässt sich hier nichts mehr erkennen. Es ist schwer nachzuvollziehen, wie sich die Flüssigkeit in diesen Strukturen verhält. Die Bauteile aus Kunststoff werden deswegen auf alle möglichen Weisen untersucht. Ziel

sei es, möglichst glatte Oberflächen in der Produktion der Teile zu erreichen – ohne sogenannte Artefakte, die eine Barrikade für die Flüssigkeit darstellen könnten.

Poornima Krishna Subramanian hingegen optimiert die Analyseprozesse medizinischer Laborgeräte. QIAstat-Dx lautet der Name des molekularen Multiplex-Diagnosesystems, dessen Software die 35-Jährige mitentwickelt hat. Das Diagnosesystem von Qiagen ermöglicht hochautomatisierte und kostengünstige PCR-Tests. In Echtzeit weist das Gerät Erreger-Nukleinsäuren in biologischen Proben nach, und zwar deutlich mehr als nur Covid-19-Viren: Je nachdem, welche Testkartusche eingesetzt wird, lassen sich in einer einzigen Probe bis zu 23 Erreger von akuten Atemwegsinfektionen oder 24 Erreger von Magen-Darm-Infektionen erkennen.

„Mit dem QIAstat-Dx kann eine Probe auf mehrere Erreger gleichzeitig untersucht werden“, erklärt Subramanian. „In Zeiten, in denen Pandemien wie Covid-19 existieren, bieten wir mit dem Gerät eine



Mittels 3-D-Scan eines Kunststoffbauteils auf dem Bildschirm lassen sich die Dimensionen und Oberflächenbeschaffenheiten überprüfen.



Porträt Jannis Lingweiler

Jannis Lingweiler (28) arbeitet für Brunel im physikalischen Labor bei Qiagen in Hilden. Er absolvierte seinen Master der Medizinphysik an der Technischen Universität Dortmund im Jahr 2022. Thema seiner Abschlussarbeit: „Vibrationsspektroskopische Untersuchungen von humanem Fettgewebe für die diagnostische Beurteilung von Lipödem-Patientinnen“.



Porträt Poornima Krishna Subramanian

Poornima Krishna Subramanian (35) ist Senior-Software-Testerin und arbeitet seit über sechs Jahren für Brunel bei Qiagen in Hilden. Sie verfügt über einen Bachelor für Elektronik und Elektrotechnik der Anna University in Chennai, Indien, und absolvierte eine Weiterbildung in Computerwissenschaften.

Möglichkeit, Proben schnell und genau für diagnostische Ergebnisse zu analysieren.“ In erster Linie wird QIAstat-Dx in Krankenhäusern oder in Arztpraxen eingesetzt. Das Gerät kommt aber auch zum Beispiel am Flughafen in Bangkok oder auf Kreuzfahrtschiffen zum Einsatz – überall dort, wo Krankheiten schnell in großen Menschenmengen erkannt werden müssen. Dass Poornima Krishna Subramanian eines Tages die Software eines medizinischen Laborgeräts in Deutschland testet, war nicht von Anfang an abzusehen. „Ich bin studierte Elektroingenieurin“, erzählt die gebürtige Inderin. „Anschließend habe ich ein Weiterbildungsprogramm für Computerwissenschaften absolviert – das hat meine Begeisterung für die IT geweckt.“ Sie arbeitete bei einem Großunternehmen in Indien, lernte dort ihren heutigen Mann kennen. Als er ein Jobangebot aus



Deutschland erhielt, ging sie mit. Schließlich suchte sie sich 2016 wieder einen Job. Bei Brunel wurde sie fündig und unterstützt aktuell den Kunden Qiagen.

Entwicklungen weltweit im Einsatz

Für Jannis Lingweiler ist die Mission bei Qiagen der erste Job nach dem Master-Studium der Medizinphysik. „Ich fand die Mischung aus zwei Fächern sehr spannend.“ Seit März 2022 optimiert er Bauteile im Hinblick auf Mikrofluidik. Darüber hinaus testet Lingweiler auch ständig neue Bauteile auf ihre Eigenschaften: Welches Material eignet sich besonders? Wie wirken sich unterschiedliche Herstellungsverfahren aus? Ein wichtiges Werkzeug für diese Analysen ist der 3-D-Drucker: „Damit

können wir passgenaue Werkzeuge zur Untersuchung herstellen, zum Beispiel Halterungen, mit denen wir die Bauteile exakt so unter dem Mikroskop positionieren können, wie wir es brauchen.“

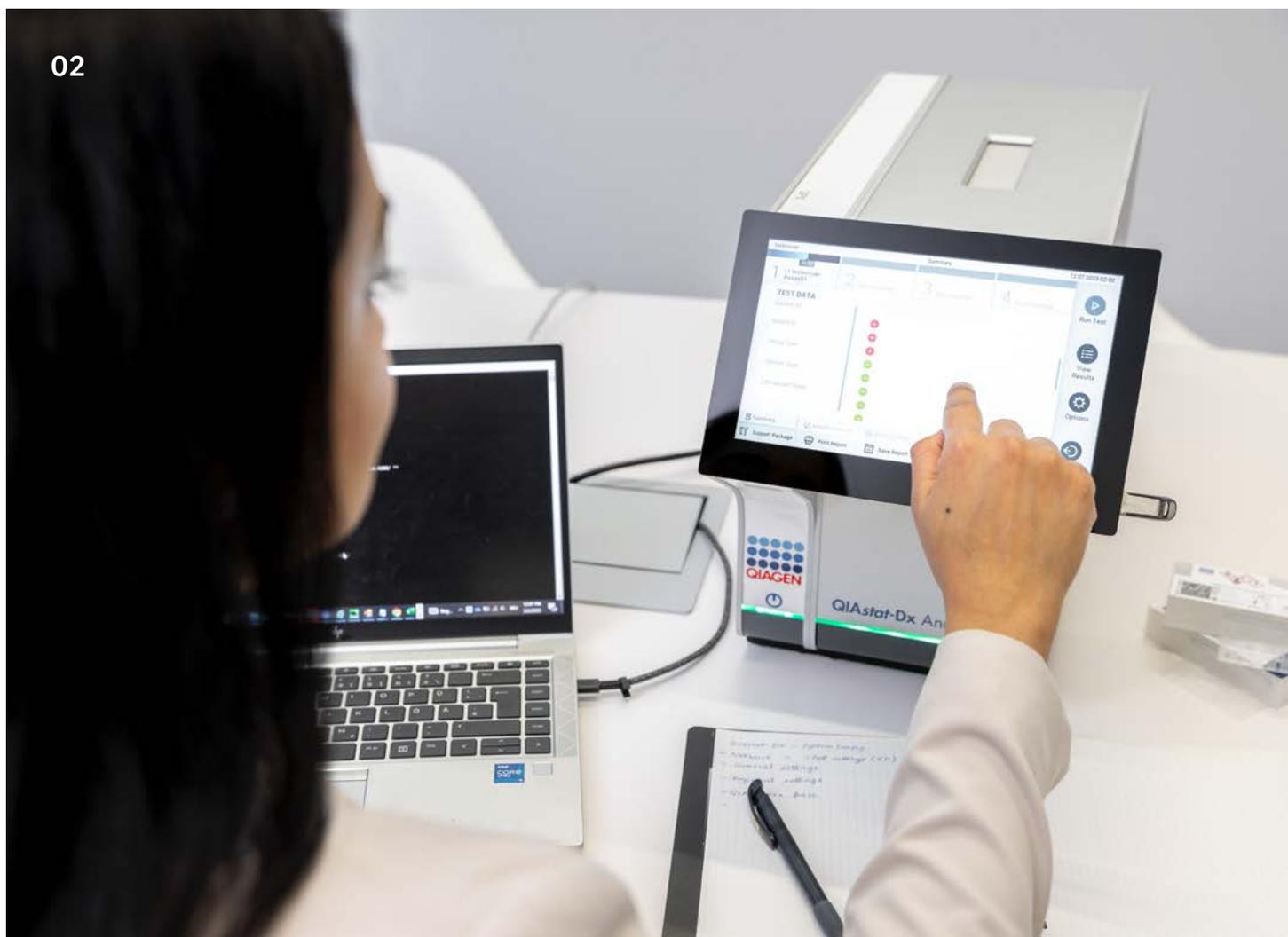
Lingweiler wie Subramanian haben ein Auge fürs Detail. Letztere trägt die Verantwortung für den gesamten Testzyklus und kommuniziert Testergebnisse sowie Empfehlungen zur Qualitätsverbesserung der Software an die Programmierer:innen. An den Start der Coronapandemie erinnert sie sich ganz besonders: „Ich war einen Monat vorher ins PCR-Team gewechselt – wir hatten keine Ahnung, was da auf uns zukam“, sagt Subramanian. Sie mussten sich binnen kürzester Zeit auf die Pandemielage einstellen. „Es war verrückt, herausfordernd und ein bisschen beängstigend. Aber wir haben uns richtig ins Zeug gelegt.“, erinnert sie sich.

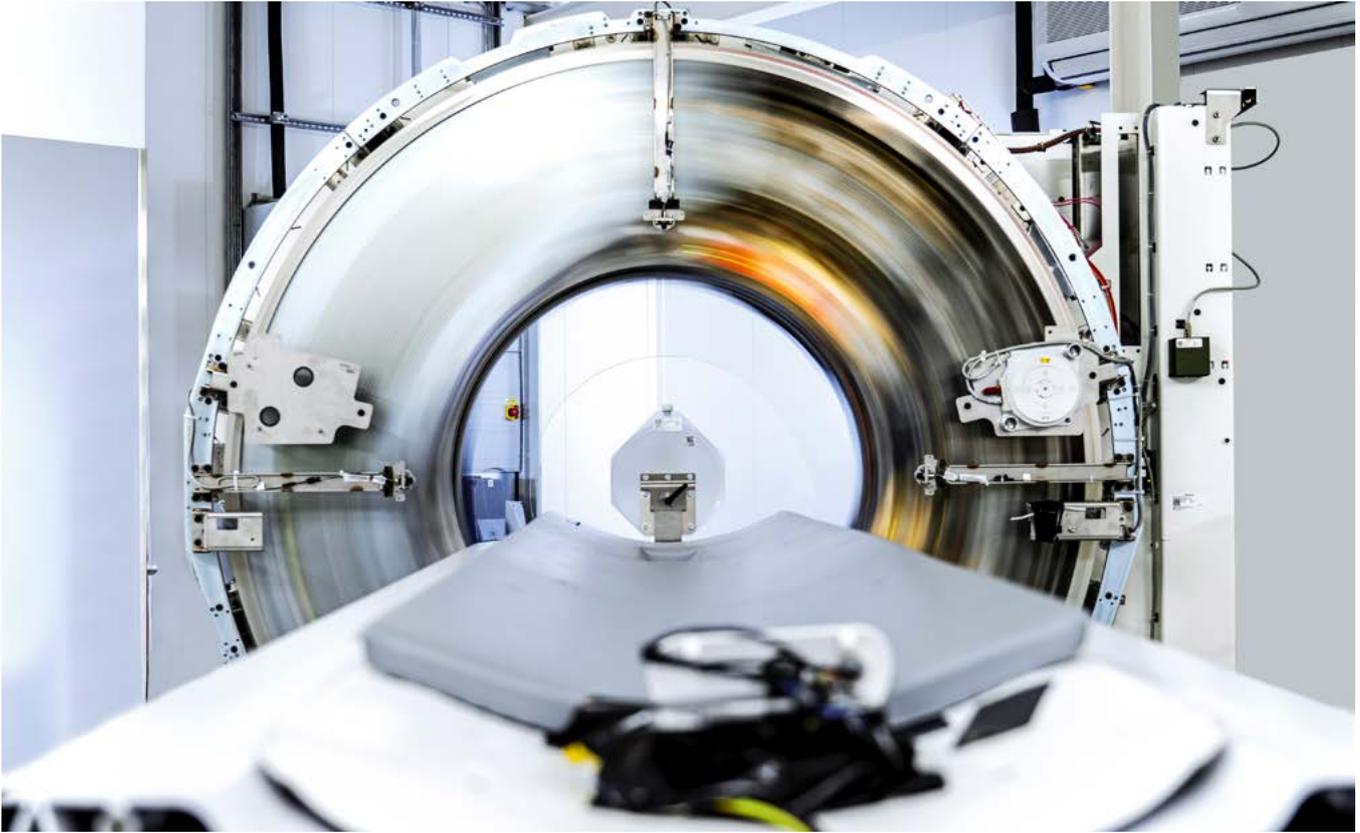
Wie wichtig ihre Arbeit auch abseits der Corona-Pandemie ist, wurde Subramanian bei einer Präsentation klar. „Anfangs nahm ein PCR-Durchlauf über eine Stunde in Anspruch“, sagt sie. „Dann erklärte uns ein Vorgesetzter, dass wir es unter einer Stunde möglich machen sollten.“ Zur Begründung zeigte er eine Statistik: Bei bestimmten Erkrankungen bedeutet selbst eine fünf Minuten schnellere Analyse, dass die Überlebenschancen sich signifikant verbessert. „Danach haben wir uns noch mehr ins Zeug gelegt, weil uns das die Auswirkung unserer Arbeit

vor Augen geführt hat.“ Zusammen mit den Software-Entwicklern reizten sie die Limits des QIAstat-Dx aus, eliminierten Pausen in der Software – und achteten gleichzeitig darauf, dass die Qualität des Ergebnisses trotzdem dieselbe bleibt. „Es ist wichtig, dass wir auf Details achten, jeden Schritt und jede Lösung dokumentieren“, erklärt Subramanian. Und Jannis Lingweiler ergänzt: „Unser Job ist spannend, weil man weiß, dass die eigene Arbeit direkt weltweit eingesetzt wird.“ Denn die nächste Pandemie könnte jederzeit kommen – und dann wollen sie wieder gewappnet sein.

01–02

Um zu verstehen, wie Kunden mit dem Instrument arbeiten und um realistische Testdaten und -szenarios zu kreieren, scannt Brunel Mitarbeiterin Poornima Krishna Subramanian eine Kartusche ein (01). Mit einer Durchsicht des Instrumentenmenüs stellt sie sicher, dass die Software-spezifikationen die häufig individuellen Anforderungen der Kunden erfüllen (02).





Quantenzählender Computertomograf

Texte › Bastian Korte

Rund 12 Mio. Scans mit dem Computertomografen (CT) werden jährlich in Deutschland durchgeführt. Doch die Bildqualität ist teils zu gering, die Strahlendosis für einige Patient:innen zu hoch. Diese beiden Probleme löst der von Siemens Healthineers entwickelte erste quantenzählende Computertomograf. Seine Aufnahmen sind doppelt so scharf und erleichtern die Diagnose gerade auch bei feinsten Strukturen wie Blutgefäßen oder winzigen Knochen. Zudem reduziert der NAEOTOM Alpha die Strahlenbelastung um

40%. Somit profitieren künftig deutlich mehr Menschen von der nichtinvasiven, schnellen CT-Untersuchung – in der Onkologie und bei der Herz-Diagnostik ebenso wie bei COVID-19 oder anderen Lungenerkrankungen. Herzstück der Innovation ist ein neuer quantenzählender Detektor aus Cadmium-Tellurid. Im Gegensatz zu herkömmlichen CT-Detektoren wandelt er die Röntgenphotonen nicht in sichtbares Licht um und vermeidet den damit verbundenen Informationsverlust über deren Energie. Vielmehr werden die Röntgenphotonen

direkt in elektrische Signale transformiert und die einzelnen Quanten in jedem Pixel gezählt – die Energieinformation bleibt erhalten und das Bild ist schärfer sowie kontrastreicher. 2021 gingen die weltweit ersten 20 Exemplare in Betrieb. Es ist davon auszugehen, dass die neue Technologie langfristig Standard in jedem CT sein wird.



Podcast über eine neue Ära in der medizinischen Diagnostik (Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft)

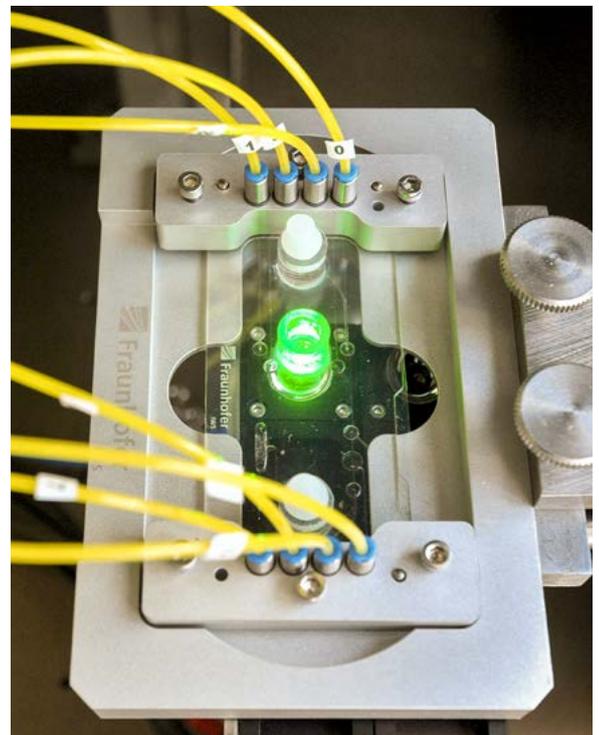


Präzise „Gen-Schere“

Das CRISPR/Cas-System ist ein molekularbiologisches Werkzeug und leitet sich von einem natürlichen Mechanismus ab, mit dem sich Bakterien wie bei einem Immunsystem vor schädlichen Viren schützen. Daraus entwickelte sich ein neuartiges Verfahren zur Modifizierung von DNA-Bausteinen mit der „Gen-Schere“. Dieses Genome Editing geschieht grundsätzlich in drei Schritten: der Suche nach der zu verändernden Stelle im riesigen Genom mittels Guide RNA, die der DNA-Abfolge der jeweiligen Zielsequenz entspricht. Zweitens dem Durchtrennen des DNA-Doppelstrangs mithilfe des Schneideproteins Cas9, woraufhin schlussendlich die zelleigenen Heilungssysteme in Kraft treten und den DNA-Strang wieder zusammenknüpfen. Diese Abfolge aus Doppelstrangbruch und anschließender Reparatur ist auch bei jeder zufälligen natürlichen Mutation der Fall. Der entscheidende Unterschied: Beim CRISPR/Cas-System verläuft dies präzise nur an einer einzigen vorbestimmten Stelle im Genom und auch die synthetische Herstellung der benötigten Elemente ist einfacher, schneller und kostengünstiger als bei anderen Ansätzen des Genome Editing. Die Wissenschaft erhofft sich hiervon neue Fortschritte beim Kampf gegen Aids, Krebs und viele Erbkrankheiten, aber auch für die Tier- und Pflanzenzüchtung.

Menschliche Organe auf dem Mikrochip

Forschende vom Fraunhofer-Institut aus Dresden haben einen Multiorgan-Chip entwickelt. Diese etwa 3×10 cm großen Mikrolabore bilden den Stoffwechsel und die Blutflüsse von gesunden und kranken Menschen nach. Somit lassen sich die Lungenatmung, die Bewegung von Immunzellen in Mikrogefäßen, aber auch die Vernetzung zwischen Organen simulieren. Tierversuche bei der Medikamenten- und Kosmetikentwicklung können damit schon heute reduziert werden. Denn Krankheitsursachen, Therapieansätze, Wirkung und Nebenwirkungen lassen sich mit den Chips deutlich genauer und schneller abbilden, da Tiere und Menschen sehr unterschiedliche Stoffwechsel aufweisen. So können die Wissenschaftler:innen dank integrierter Sensoren, Ventile, Pumpen, Stoffaustauscher und Steuerelektronik genau analysieren, wie die im Chip eingebetteten Organzellen auf ein Diabetes-Medikament oder eine neue Hautcreme reagieren. Perspektivisch führt die Innovation zu einer personalisierten Medizin, bei der Nieren, Lebern und andere Ersatzorgane für kranke Menschen im Labor gezüchtet werden. Laut Fraunhofer-Team wird dies aber noch 10 bis 20 Jahre dauern.



„Die Raumfahrt zwingt uns zum Fortschritt robotischer Systeme“

Roboter und Menschen werden in Zukunft in unterschiedlichen Bereichen noch intensiver zusammenarbeiten – davon ist Prof. Frank Kirchner überzeugt. Hier erklärt der Experte für Künstliche Intelligenz und mobile Robotersysteme, was diese sogenannten diversen Teams noch lernen müssen, wo sie bereits gut funktionieren und warum Sicherheit ein zentraler Aspekt ist.

Text › Anne-Katrin Wehrmann

Herr Prof. Kirchner, warum und in welchen Bereichen ist Teamwork zwischen Robotern und Menschen ein wichtiges Thema?

Wir befinden uns in einem Zeitalter, in dem Roboter deutlich komplexere Aufgaben übernehmen können als früher und dabei zunehmend auch direkt mit Menschen zusammenarbeiten. Das betrifft die Raumfahrt, aber auch terrestrische Bereiche wie den Gesundheitssektor und die Industrie. Bei der Produktion von Autos oder Flugzeugen kann der Roboter bei körperlich schweren Aufgaben bestimmte Teile halten, die der Mensch dann nur noch festschrauben muss. Das bedeutet aber auch, dass wir mit Blick auf die Sicherheit viel höhere Anforderungen an den Roboter stellen müssen. Eine der entscheidenden

Fragen ist die, wie Menschen und Roboter in Zukunft miteinander interagieren und kommunizieren.

Welche Sicherheitsaspekte sind bei der Zusammenarbeit diverser Teams zu beachten und wie ist hier der aktuelle Forschungsstand?

Es gibt drei Ebenen der Sicherheit, die wir einbringen müssen. Die unterste Ebene ist die Hardware selbst. Bisher wurden Roboter für das Fließband eher auf Steifigkeit gebaut, damit das System bei möglichst wenig Schwingungen mit hoher Präzision arbeitet. Dies kann allerdings gefährlich werden, wenn der Mensch dem Roboter auf unvorhergesehene Weise zu nahe kommt. Wir müssen darum durch

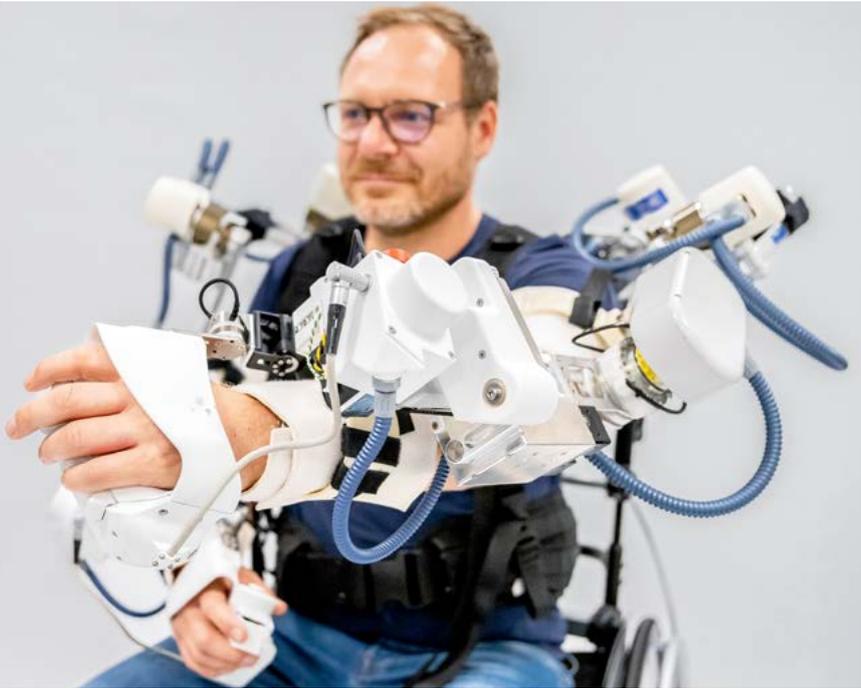
dämpfende Materialien, Federsysteme und Ähnliches für größere Nachgiebigkeit sorgen. Die zweite Ebene betrifft die Steuerung. Hier gilt es, künftig statt der Positionsregelung die Kräfteregelung in den Vordergrund zu stellen. Das heißt: Der Roboter muss sofort nachgeben können, wenn eine externe Kraft auf ihn einwirkt. Dafür braucht es neben einer entsprechenden Software auch eine hochgradig sensible Sensorik. Auf der dritten Ebene geht es um externe Überwachungssysteme wie Kameras oder Laserscanner, welche den Arbeitsraum beobachten und den Roboter im Falle einer gefährlichen Situation abschalten. Die Entwicklung dieser Sicherheitsmechanismen ist weit fortgeschritten, aber es gibt durchaus noch



Porträt Frank Kirchner

Prof. Frank Kirchner (59) ist Inhaber des Lehrstuhls für Robotik an der Universität Bremen, Geschäftsführender Direktor des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) Bremen sowie Leiter des dortigen Forschungsbereichs Robotics Innovation Center. Er entwickelt mobile Robotersysteme für verschiedene Anwendungen und hat sich international einen Namen als Experte für Robotik und Künstliche Intelligenz gemacht.

01



01–03

Der humanoide Assistenzroboter RH5 Manus (Bild 02 und 03) arbeitet autonom, lässt sich aber mithilfe eines am DFKI Robotics Innovation Center entwickelten Exoskeletts auch aus der Ferne steuern (siehe Bild 01). Auf Raumfahrtmissionen können Astronautinnen und Astronauten somit auch spontane Montageleistungen wie nicht eingeplante Reparaturen mit dem flexiblen 2-, 3- und 4-Finger-Greifsystem des Roboters umsetzen.

Verbesserungspotenzial. Insbesondere was die Vorhersagefähigkeit des menschlichen Handelns angeht. Das ist wichtig, damit der Roboter schon früh antizipieren kann, was als Nächstes passiert.

In Ihrem Forschungsprojekt TransFIT entwickelten Sie robotische Fähigkeiten für zukünftige Raumfahrtmissionen weiter. Welche Erkenntnisse haben Sie gewonnen?

Zum einen haben wir große Fortschritte gemacht, indem wir auch hybride KI-Algorithmen eingesetzt haben, um die Regelung noch besser, schneller und nachgiebiger zu gestalten. Hybrid heißt in diesem Zusammenhang, dass wir die klassischen modellbasierten Regelungskonzepte mit dem Ansatz des maschinellen Lernens verknüpft haben. Viele Parameter wie Temperatur, Reibung oder Alter und Zustand der Roboterbauteile verändern sich im Laufe der Zeit. Mithilfe von Machine Learning lassen sich solche Dynamiken nun antizipieren. Zum anderen sind wir durch die Analyse von Hirnströmen weitergekommen,

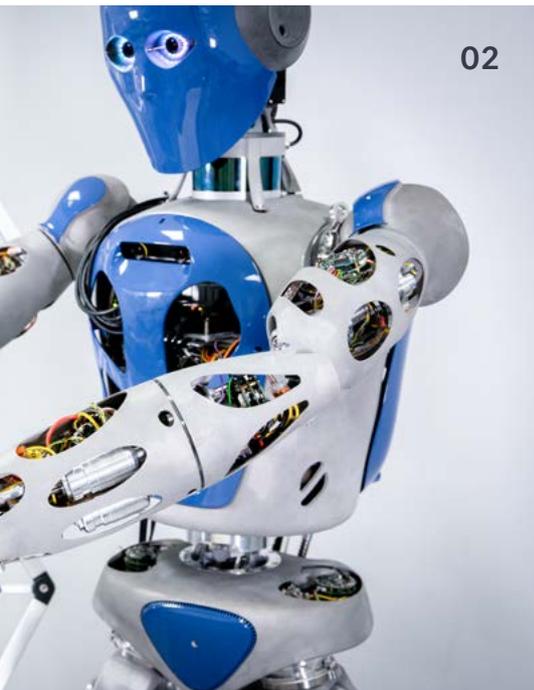
was die zu erwartenden Handlungen des Menschen im Arbeitsraum anbelangt.

Wo stoßen die autonomen mobilen Roboter aktuell noch an ihre Grenzen?

Auf der physischen Seite sind sie schon ziemlich weit, aber auch dort gibt es noch Verbesserungspotenzial, zum Beispiel was den Berührungssinn betrifft. Die größte Herausforderung ist aus meiner Sicht, dass wir zwar schon viele sehr gute KI-Systeme wie Bild-, Text- und Spracherkennung haben, diese aber bisher noch so etwas wie Inseltalente sind. Wir brauchen Lösungen, die diese einzelnen Leistungen miteinander verbinden und in ein komplexes Gesamtsystem einbetten.

Wenn Mensch und Roboter gemeinsam im Weltraum im Einsatz sind: Wie kann eine Zusammenarbeit aussehen?

In einem konkreten TransFIT-Szenario ging es beispielsweise darum, gemeinsam ein Solarpanel im Außenbereich einer Mondstation anzubringen, da das Panel für den Menschen zu schwer und für ihn in



seinem Raumanzug auch zu unhandlich ist. Der Roboter hat es in die richtige Position gebracht und der Mensch musste nur noch korrigieren und fixieren. Dieser Prozess stößt allerdings dann an seine Grenzen, wenn der Mensch nicht ersetzbar ist, weil es für bestimmte Aufgaben immer Intuition, Vorstellungskraft und eine gewisse Art von Bewusstsein brauchen wird.

Welche Bedeutung hat die Raumfahrt für die Entwicklung robotischer Systeme?

Eine ganz enorme. Durch die Raumfahrt sind wir zu Technologieschritten gezwungen, die wir sonst nicht unbedingt gehen müssten. Der Reifegrad dieser Systeme muss deutlich höher sein als alles, was wir auf der Erde haben: Das betrifft zum Beispiel die Redundanz, also die Kompensation von Fehlfunktionen für erhöhte Ausfallsicherheit, die unter anderem bei selbstfahrenden Autos oder bei Robotern in der Medizin eine wichtige Rolle spielt. Auch hinsichtlich der Materialauswahl und Robustheit profitieren terrestrische Systeme wie etwa Feuerwehren oder das

Technische Hilfswerk. Sie sehen also: Viele Entwicklungen der vergangenen 20 Jahre waren nur unter dem Aspekt der Raumfahrttauglichkeit möglich. Und heute stehen sie zur Verfügung für terrestrische Anwendungen, auch in der Industrieproduktion.

Ab wann sind diverse Teams aus Robotern und Menschen realistisch?

Teilweise existieren sie bereits. Es gibt seit einiger Zeit die „Cobots“ – kollaborative Roboter, die in der industriellen Fertigung eingesetzt werden. Diese Zusammenarbeit wird künftig noch intensiver und komplexer werden. Wir hatten schon interessante Projekte mit Automobilbauern und Logistik-Unternehmen, bei denen der Roboter schwere Lasten angehoben und der Mensch nur noch die Feinjustierung übernommen hat. Auch in der Rehabilitation waren wir bereits aktiv: Dabei ging es um Schlaganfallpatient:innen, die mithilfe eines Exoskeletts wieder nach einem Glas Wasser greifen oder von einem Stuhl aufstehen konnten. In solchen Bereichen

stehen wir noch einen Schritt vor der Produktentwicklung, aber auf der Forschungsseite sind wir relativ weit.

Wie sieht die Zukunft der Robotik aus?

Es ist die Frage, wie weit das gehen soll. Wenn wir uns einen Roboter vorstellen, der verschiedene KI-Fähigkeiten in sich vereint und dabei eine lebensechte menschliche Hülle bekommt, wäre dieser irgendwann kaum noch von einem Menschen zu unterscheiden. Es gibt das sogenannte Uncanny-Valley-Effekt, das besagt: Je ähnlicher die Gestalt der Maschine einem Menschen ist, ohne ihn dabei perfekt in Optik und Verhalten zu imitieren, desto unheimlicher wird dem Menschen das System. Ich würde nicht ausschließen, dass wir in einigen Jahren humanoide Roboter haben, die uns sehr nahekommen. Diese werden aber baulich immer noch als Roboter zu erkennen sein – alles andere würde uns Menschen Angst bereiten.

Vielen Dank für das Gespräch.

Das grüne Weltwunder

Mit der Verwirklichung der Great Green Wall hat sich die Afrikanische Union ein sehr ehrgeiziges Ziel gesetzt: Ein Mosaik aus grüner und fruchtbarer Landschaft, das sich über Nordafrika, die Sahelzone und das Horn von Afrika erstreckt. Das Gemeinschaftsprojekt überwindet geografische, politische und kulturelle Hürden, schafft neue Arbeitsplätze sowie Gender Equality, eine zukunftsfähige Perspektive für die Einheimischen und es verlangsamt den Klimawandel – genug Gründe, um sich dieses Mammutvorhaben einmal genauer anzusehen.

Text › Nicolas Schiffler

Gemeinsam über Grenzen hinweg

Die Great Green Wall erstreckt sich von West- nach Ostafrika und durchzieht dabei den Senegal, Mauretanien, Mali, Burkina Faso, Niger, Nigeria, Tschad, Sudan, Eritrea, Äthiopien und Dschibuti. Neben über 20 afrikanischen Partnerländern unterstützen auch internationale Förderer das Gemeinschaftsprojekt, etwa die Vereinten Nationen, die Europäische Kommission, die Weltbank sowie One Planet Summit.

Noch 80 % bis 2030

Schon in den 1970er Jahren gab es erste Bestrebungen, im Norden Afrikas einen Vegetationsgürtel zu pflanzen. Schließlich rief die Afrikanische Union das Projekt 2007 ins Leben. Seither verfolgen die Initiierenden ein ehrgeiziges Ziel: Bis 2030 soll das Weltwunder fertiggestellt sein. Ein ambitionierter Zeitplan, denn derzeit sind erst knapp 20 % der geplanten Fläche umgesetzt.

8.000 km quer durch Afrika

Nach ihrer Fertigstellung ist die Great Green Wall die größte zusammenhängende Lebensstruktur der Erde – dreimal so groß wie das Great Barrier Reef. Planungen zufolge wird Afrikas Grüner Gürtel einmal 8.000 km lang sowie 15 km breit sein, direkt gelegen an den Ausläufern der Sahara.

Mit Wassertanks gegen die Hitze

Aufgrund des heißen Klimas in der Sahelregion wird beim Einpflanzen der Setzlinge ein kreisförmiger Wassertank mit Öffnung in der Mitte genutzt, der die Wurzeln umgibt. Zudem werden hitze- und dürreresistente Spezies wie Akazien oder Mango- und Papayabäume angebaut.

Soforthilfe vor Ort

Über 350.000 Einheimischen bietet die grüne Wand einen Arbeitsplatz. Insbesondere Bewässerung, Anbau und Ernte gehören zu den täglichen Aufgaben. Bisher sind mindestens 10 Mio. Menschen für ein nachhaltiges Land- und Wassermanagement geschult und knapp 9 Mio. US-Dollar an Einkommen vor Ort generiert worden. Antworten auf drängende Bedrohungen unserer Zeit: Dürre, Hunger, innerstaatliche Konflikte und Migration.

CO₂-Einsparung von 250 Mio. t

Während im Senegal über 12 Mio. Bäume auf 40.000 ha Land gepflanzt worden sind, wurden in Nigeria und dem Niger sogar je 5 Mio. ha Land neu begrünt und nutzbar gemacht. Darüber hinaus bekämpft die Great Green Wall aktiv den Klimawandel, indem bis 2030 circa 250 Mio. t CO₂ gebunden werden.

Senegal



Dschibuti

Solein ist eine völlig neue Zutat im Lebensmittelbereich: Zwei Dutzend Varianten hat Solar Foods bereits entwickelt – von Nudeln und Backwaren bis zu Fleischersatz, Soßen und Drinks. Sobald die Fabrik steht, sollen Erzeugnisse produziert werden, die für bis zu 40 Mio. Mahlzeiten jährlich reichen.



Nahrung aus fermentiertem CO₂: Kleinste Lebewesen bewirken Großes

Das finnische Unternehmen Solar Foods hat ein Protein entwickelt, das von Mikroorganismen aus Wasserstoff und Kohlendioxid hergestellt wird. Dieses sogenannte Solein könnte überall auf der Welt produziert werden, dabei das Klima positiv beeinflussen und gleichzeitig unsere Ernährung nur unwesentlich verändern. Einer der Gründer gibt Einblicke in eine Vision, die ein völlig neues Lebensmittel verspricht.

Text › Fränze Kellig



Porträt Pasi Vainikka

Dr. Pasi Vainikka (45) hat einen Master in Energiesystemen, einen weiteren in Energiewirtschaft und einen Doktor in Prozesschemie. Er ist außerordentlicher Professor an der Lappeenranta University of Technology und war leitender Wissenschaftler am Technischen Forschungszentrum Finnlands. Neben Solar Foods arbeitet Vainikka unter anderem an einer Pilotanlage zur Herstellung von Treibstoff aus Luft.

lässt sich so einfach wie Soja verarbeiten, als Fleischersatzprodukt oder für Proteindrinks. „Im Prinzip kann es da verwendet werden, wo bisher Milch oder Fleisch zum Einsatz kamen“, erklärt Dr. Vainikka. „Aber auch in Suppen, Ei-Ersatz in Nudeln, in Aufstrichen und Mayonnaise.“ Perspektivisch könnte Solein auch als Grundstoff für In-vitro-Fleisch dienen. Außerdem ist es eine spannende Option für die Raumfahrt, vor allem mit Blick auf eine Marslandung: Denn in der dortigen Atmosphäre lassen sich herkömmliche Pflanzen nicht ohne Weiteres anbauen – Solein jedoch vermutlich schon.

Bevor die Wissenschaftler die Mikroorganismen fanden, die sie heute zur Solein-Herstellung nutzen, durchliefen sie einen systematischen Screening-Prozess. Sie gingen in die Natur, um Proben von Böden zu nehmen, und suchten nach passenden Mikroorganismen nach dem Trial-and-Error-Prinzip. Nach der ersten erfolgreichen Solein-Produktion mussten Dr. Vainikka und Dr. Pitkänen zudem belegen, dass es als Lebensmittel geeignet ist.

„Wir haben zwei Jahre und über 1,5 Mio. € investiert, um zu beweisen, dass Solein ein sicheres Lebensmittel ist. Jetzt hat Solein alle Tests bestanden“, sagt Dr. Vainikka. „Ich habe mich selbst auf Solein-Basis ernährt. Außerdem haben wir regelmäßig Presseleute oder Investor:innen zu Besuch, für die wir Essen mit Solein zubereiten.“

Ab 2023 im Handel erhältlich

Das Unternehmen setzt dabei auf interdisziplinäre Zusammenarbeit: „Wir verwenden Wasserstoff – wie in der Petrochemie. Wir nutzen die Fermentation – wie bei der Weinherstellung“, zählt Dr. Vainikka auf. „Außerdem bauen wir Texturen, wie sie in der konventionellen Nahrung zu finden sind.“ Solar Foods ist zwar eine Lebensmittelfirma, sieht sich aber in erster Linie als Cleantech-Unternehmen: „Wir benötigen nur etwa ein Zehntel der Fläche einer Pflanze, die Fotosynthese betreibt, und

Solein basiert auf bestimmten Mikroben. Mit Kohlenstoffdioxid aus der Luft und grünem Wasserstoff werden diese zum Vermehren angeregt.



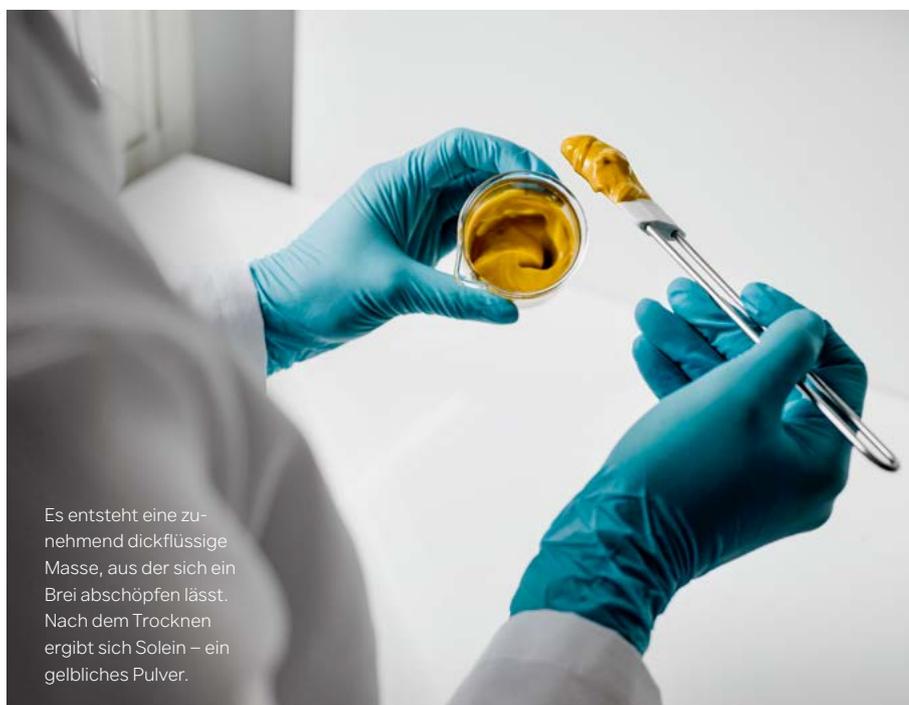


Das CO₂ wird in einem mit Bodenbakterien befüllten Bioreaktor mit Stickstoff und Wasserstoff sowie Phosphor, Calcium und anderen Mineralien zum Gären gebracht.

sogar nur 1 % der Fläche, die es braucht, um Fleisch zu produzieren“, berichtet der Finne. Diese Rechnung umfasse auch die Fläche der Stromproduktion, die für diese Nahrung benötigt werde.

Solein könnte auch als Alternative für bisherige Tierhaltung dienen. Pflanzenbasierte Landwirtschaft bliebe erhalten, bisherige Fleischproduzierende könnten jedoch umsatteln. „Wir erwarten gar nicht, dass Endverbrauchende ihr Verhalten verändern“, erklärt Dr. Vainikka. „Die Menschen brauchen keine Kompromisse zu machen.“ Dabei ist Solein natürlich nicht vollständig mit Tierfleisch vergleichbar. Allerdings könnten hiermit viele der bisherigen Endprodukte erhalten bleiben – nur der Herstellungsprozess wäre wesentlich umweltfreundlicher, auch gegenüber beispielsweise Soja. Bereits heute ist der Preis von Solein mit 5–10 € pro kg meist signifikant niedriger als der von Fleisch. Damit liegt es im Vergleich zu anderen Protein-Nährstoffen im Mittelfeld.

„Ich selbst bin Flexitarier“, so der 45-Jährige. „Aber das bin ich nicht aus einem idealistischen Aspekt, etwa weil ich Fleischkonsum per se falsch finde. Das hat sich eher natürlich ergeben.“ Sich vom Fleischessen zu lösen, sei auch eine Generationenfrage: „Für meine Eltern ist rotes Fleisch ein Statussymbol. Für meine Tochter hingegen ist es etwas, was man nicht auf Social Media postet. Ich bin irgendwo zwischen diesen



Es entsteht eine zunehmend dickflüssige Masse, aus der sich ein Brei abschöpfen lässt. Nach dem Trocknen ergibt sich Solein – ein gelbliches Pulver.

Realitäten. Wenn ich später mal in meinem Schaukelstuhl sitze und meine Enkelkinder in meinem Kühlschrank Fleisch sehen, werden sie das komisch finden – weil Solein dann das neue Normal sein könnte.“ Zurzeit baut das Unternehmen seine erste Fabrik, um zu zeigen, dass die Produktion auch in großen Mengen funktioniert. Schätzungsweise 2023 soll Solein

im Handel verfügbar sein. Wer sich demnächst in der Nähe von Helsinki aufhält, hat die Möglichkeit, sich im Showroom die Produktion von Solein anzusehen und die Produkte zu kosten. „Wir möchten die Menschen ermutigen, zu probieren“, wünscht sich Dr. Vainikka. „Sie sollen dann entscheiden, ob Solein etwas ist, was sie in ihre alltägliche Ernährung integrieren möchten.“

Der Mann, der nicht lockerließ

Seit dem Frühjahr 2020 ist sein Name auch jenseits des Wissenschaftsbetriebes in aller Munde: Robert Koch. Der deutsche Arzt, Epidemiologe und Hygieniker gilt als Wegbereiter der Mikrobiologie. Das nach ihm benannte Institut ist Deutschlands wichtigste Informationssammelstelle sowie -quelle und veröffentlicht täglich neue Fallzahlen und Erkenntnisse rund um die Coronapandemie.

Text › Kerstin Radtke



Ob sich Robert Koch eine Pandemie wie diese hätte ausmalen können? Fest steht, dass er ebenso unermüdlich an deren Erforschung und Bekämpfung mitgearbeitet hätte wie die Mitarbeitenden des nach ihm benannten Robert Koch-Institutes (RKI). Eines seiner überlieferten Zitate ist zugleich sein Erfolgsrezept: „Ich lasse nicht locker.“ So kommentierte er den Nobelpreis für Medizin, den er 1905 für seine Tuberkuloseforschung erhielt. Diese setzte bis heute gültige Maßstäbe im Bereich der Infektionskrankheiten und Hygiene. „Man muss nicht wissen, wer den Tuberkelbazillus entdeckt hat“, sagte er einst recht bescheiden – doch Robert Koch war nicht nur ein wissbegieriger, beharrlicher Kämpfer im Dienst der Sache, sondern sehr ehrgeizig.

Geboren am 11. Dezember 1843 als drittes von 13 Kindern eines Bergbaubeamten, sammelt und katalogisiert Robert Koch bereits als Junge diverse Pflanzen. Auf das Abitur am Humanistischen Gymnasium Clausthal folgt das Medizinstudium in Göttingen. Als Krankenhausarzt ist Robert Koch in Hamburg, nahe Hannover und in Potsdam tätig, bevor 1870 der Deutsch-Französische Krieg beginnt. Er meldet sich freiwillig als Sanitäter und behandelt im Feldlazarett vor allem Soldaten mit Ruhr und Typhus, beides bakterielle, schwere und oft tödlich verlaufende Durchfallerkrankungen. Nach dem Kriegsdienst legt er 1872 das Physiksexamen ab und wird Amtsarzt im kommunalen Krankenhaus der Provinz Posen. Neben dieser Arbeit ist er noch als Gerichtsgutachter und in seiner Privatpraxis tätig, in der er Arme und Bedürftige behandelt.

Logischer Aufbau und hohe Präzision

Trotz der praktischen Tätigkeit bleibt Robert Kochs reges Interesse an der Forschung: Im eigenen kleinen, primitiv eingerichteten Labor in seinem Wohnhaus führt er Experimente durch. Er wird dabei von seiner Frau Emmy, einer medizinisch-technischen Assistentin, unterstützt. Ein stets logischer Aufbau und eine akribisch hohe Präzision zeichnen ihre Versuche aus. Denn die Tierseuche Milzbrand (Anthrax) treibt damals nicht nur zahlreiche Bauern der Region in den Ruin, sondern befällt immer wieder auch Menschen. Koch weist im Tierblut stäbchenförmige Gebilde als Krankheitsauslöser nach, die widerstandsfähige Sporen bilden. Er isoliert diese erfolgreich und macht damit gesunde



1854: Robert Koch (obere Reihe, links neben der Mutter) im Kreise der Familie in Clausthal im Harz. Schon viel früher, im Alter von fünf Jahren, verblüffte er seine Eltern mit der Tatsache, sich mithilfe der Zeitung das Lesen selbst beigebracht zu haben. Erste Anzeichen für seine Ausdauer und Zielstrebigkeit.

01–02

Robert Koch 1896 auf Expedition in Ägypten mit seiner zweiten Ehefrau Hedwig (01). Auf der Suche nach dem Erreger der Schlafkrankheit seziiert Koch (rechts) im Jahr 1906 ein Krokodil auf den Ssesse-Inseln im afrikanischen Viktoriasee (02).



Tiere krank – der Beweis für seine These. An Carl Zeiss, einen Pionier der optischen Industrie, dessen Mikroskope Koch sehr schätzt, schreibt er im Zuge der Bestellung eines mikrofotografischen Apparats: „Es ist mir nämlich gelungen, die Bakterien mit solchen Farbstoffen zu imprägnieren, welche ihre Form nicht verändern und sie ganz außerordentlich deutlich erscheinen lassen.“ Robert Koch kann als erster Bakteriologe seiner Zeit herleiten, weshalb ein Erreger resistent auf diverse Umweltfaktoren reagiert und welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um eine Infektion auszulösen. Seine Erkenntnis: „Die Bakterie ist nichts, das Milieu ist alles.“ Anders ausgedrückt: Einem gesunden Immunsystem können Bakterien nichts anhaben, sobald es aber geschwächt ist, kommt es zur Krankheit.

Skandal um vermeintliches Wundermittel

Diese bahnbrechende, 1876 veröffentlichte Forschung ist der Anlass für Robert Kochs Berufung an das Kaiserliche Gesundheitsamt in Berlin, wo er ab 1880 die bakteriologische Methodik zur Erforschung von Infektionskrankheiten und zur Entwicklung von Gegenmaßnahmen wie Desinfektionsverfahren ausbaut. Nach seiner Arbeit über Bakterienkulturen trägt



er 1882 in der Physiologischen Gesellschaft in Berlin seine Erkenntnisse über den Erreger der bis dahin unbesiegbaren Volkskrankheit Schwindsucht (Tuberkulose) vor. Kochs Schüler Paul Ehrlich – später Namensgeber des Bundesinstitutes für Impfstoffe und biomedizinische Arzneimittel – erklärte, dieser Vortrag sei ihm zeitlebens „als mein größtes wissenschaftliches Erlebnis in Erinnerung geblieben“. Nun ist Robert Kochs Weltruhm nicht mehr aufzuhalten. Seine Techniken, Methoden und Kriterien für den Nachweis

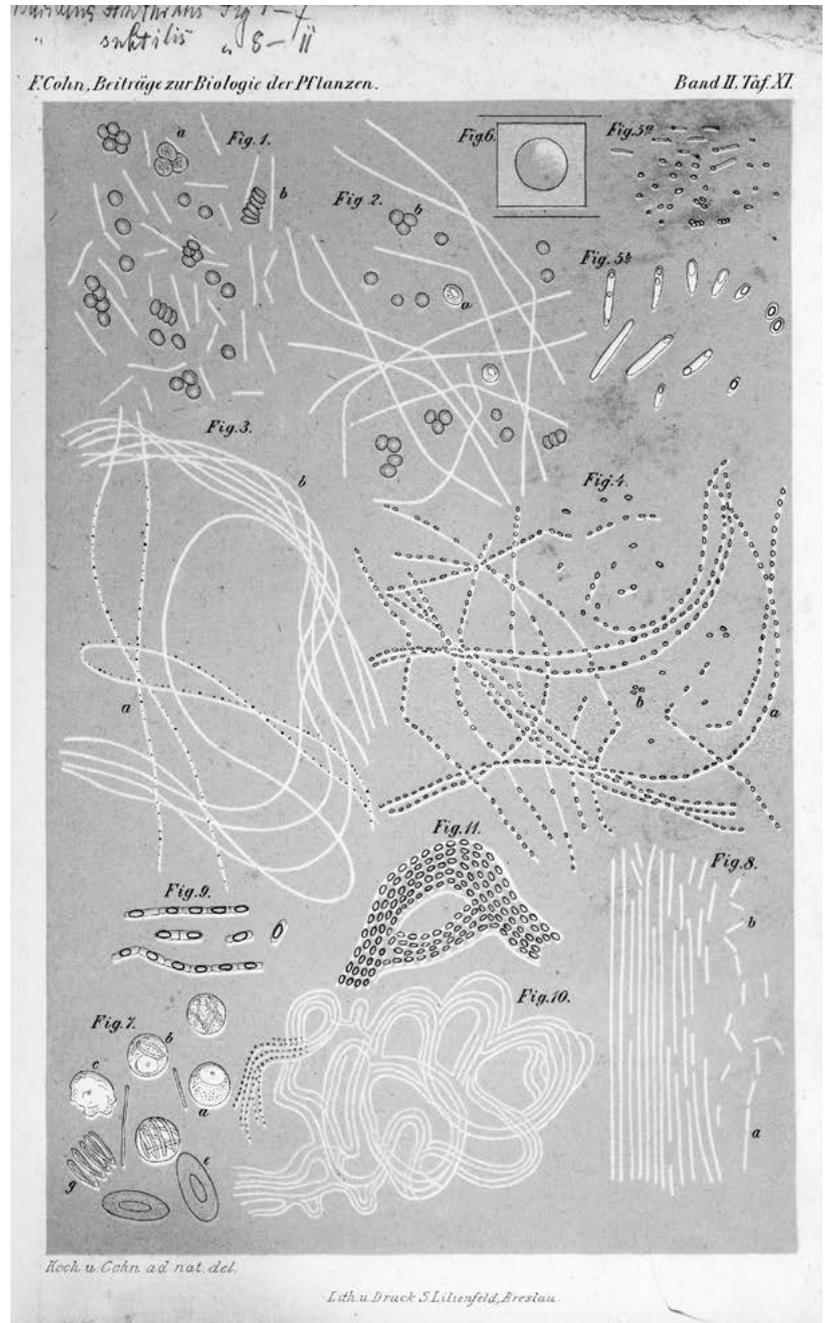
von Krankheitserregern machen Schule. Wichtige Erkenntnisse zum Cholera-Erreger sammelt er 1883/1884 im Rahmen einer Indien-Expedition der britischen Regierung. Bei seiner Rückkehr wird Koch in Deutschland wie ein Held ausgezeichnet und mit dem neu geschaffenen Lehrstuhl für Hygiene an der Berliner Universität belohnt.

Kurz darauf entdeckt der Franzose Louis Pasteur, neben Koch der zweite Mitbegründer der Mikrobiologie, den Tollwut-erreger und lanciert ein wirtschaftlich

erfolgreiches Immunsrum. Kochs Eifer ist geweckt, er will unbedingt ein Tuberkulose-Heilmittel präsentieren. So sorgt das sogenannte Tuberkulin im Jahr 1890 zunächst für große Euphorie. Doch bei der Therapie mit dem vermeintlichen Wundermittel kommt es zu Todesfällen, Koch muss das Rezept offenlegen: Er hat darin lediglich Extrakte von Tuberkelerregern verarbeitet, aber keine Belege zu deren Wirksamkeit vorzuweisen – entgegen den ursprünglich von ihm selbst entwickelten Forschungsregeln, die aber noch nicht allgemeiner Standard waren. So wurde in Deutschland erst 1961 ein Arzneimittelgesetz verabschiedet. Trotz dieses Skandals und wegen seiner ansonsten revolutionären Erkenntnisse wird Koch somit kurz darauf zum Direktor des extra für ihn gegründeten Königlich Preußischen Instituts für Infektionskrankheiten ernannt, das er 13 Jahre leiten wird. Es ist eines der ersten biomedizinischen Forschungsinstitute der Welt, das nationale und internationale Auftragsarbeiten sowie Gutachten erstellt.

Begehrter Nobelpreis für Medizin

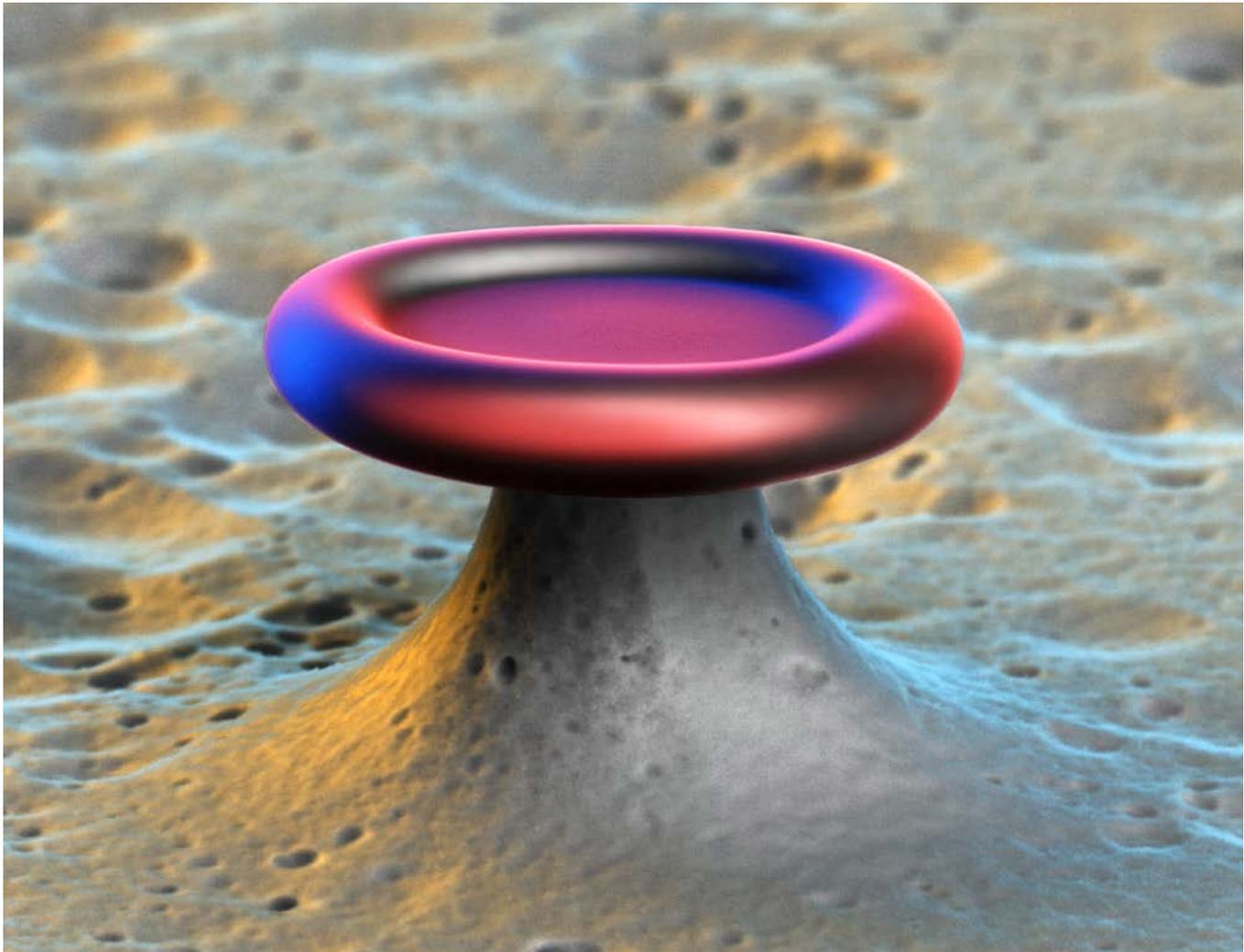
Koch ist ab Mitte der 1890er-Jahre häufig auf Forschungsreisen unterwegs und untersucht Tropenkrankheiten wie Malaria und Tierseuchen. Damit baut er seinen Ruf als Fachmann weiter aus – bis zum begehrten Nobelpreis 1905 für seine auch nach dem Skandal fortgeführte Grundlagenforschung rund um die Tuberkulose. Als er 1910 stirbt, wird seine Asche im eigens errichteten Mausoleum des Instituts beigesetzt. Zwei Jahre später wird das im Volksmund sogenannte Koch'sche Institut zum 30. Jahrestag der Tuberkelbazillus-Entdeckung in Königlich Preussisches Institut für Infektionskrankheiten „Robert Koch“ umbenannt, 1942 in Robert Koch-Institut. Dem Mann, der nie lockerließ und voller Ehrgeiz forschte, wurde ein namentliches Denkmal gesetzt.



Robert Kochs Handzeichnung eines Milzbranderregers aus dem Jahr 1876. Für seine mikroskopischen Studien entwickelte er die Technik des hängenden Tropfens, bei der die Mikroben in einem Tropfen an der Unterseite eines Objektträgers kultiviert werden.

Eine Idee, worum es hier geht?

Text › Bastian Korte



Proteine im Körper, Viren in der Raumluft – winzige Nanoteilchen sind unter Mikroskopen meist nicht sichtbar. Hier kommen optische Resonatoren ins Spiel: Sie verstärken die Wechselwirkung zwischen Licht und Nanoteilchen, indem sie üblicherweise das Licht auf engstem Raum gefangen halten und tausende Male zwischen Spiegeln reflektieren lassen. Dank

der messbaren Veränderung der Lichtintensität können somit auch kleinste Partikel identifiziert werden. In dieser stark vergrößerten Nahaufnahme ist ein ringförmiger, mittig geöffneter Resonator aus Quarz samt Siliziumfußstruktur abgebildet. Sein Funktionsprinzip basiert auf einer Lichtwelle, die mittels Glasfaser in den Resonator eingekoppelt wird.

Im Resonanzfall – also bei Kreuzung des Lichts mit Nanoteilchen – folgt eine stehende Welle, das in der Faser weiterlaufende Licht wird geschwächt. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zählt hierzulande zu den führenden Forschungseinrichtungen rund um optische Resonatoren.



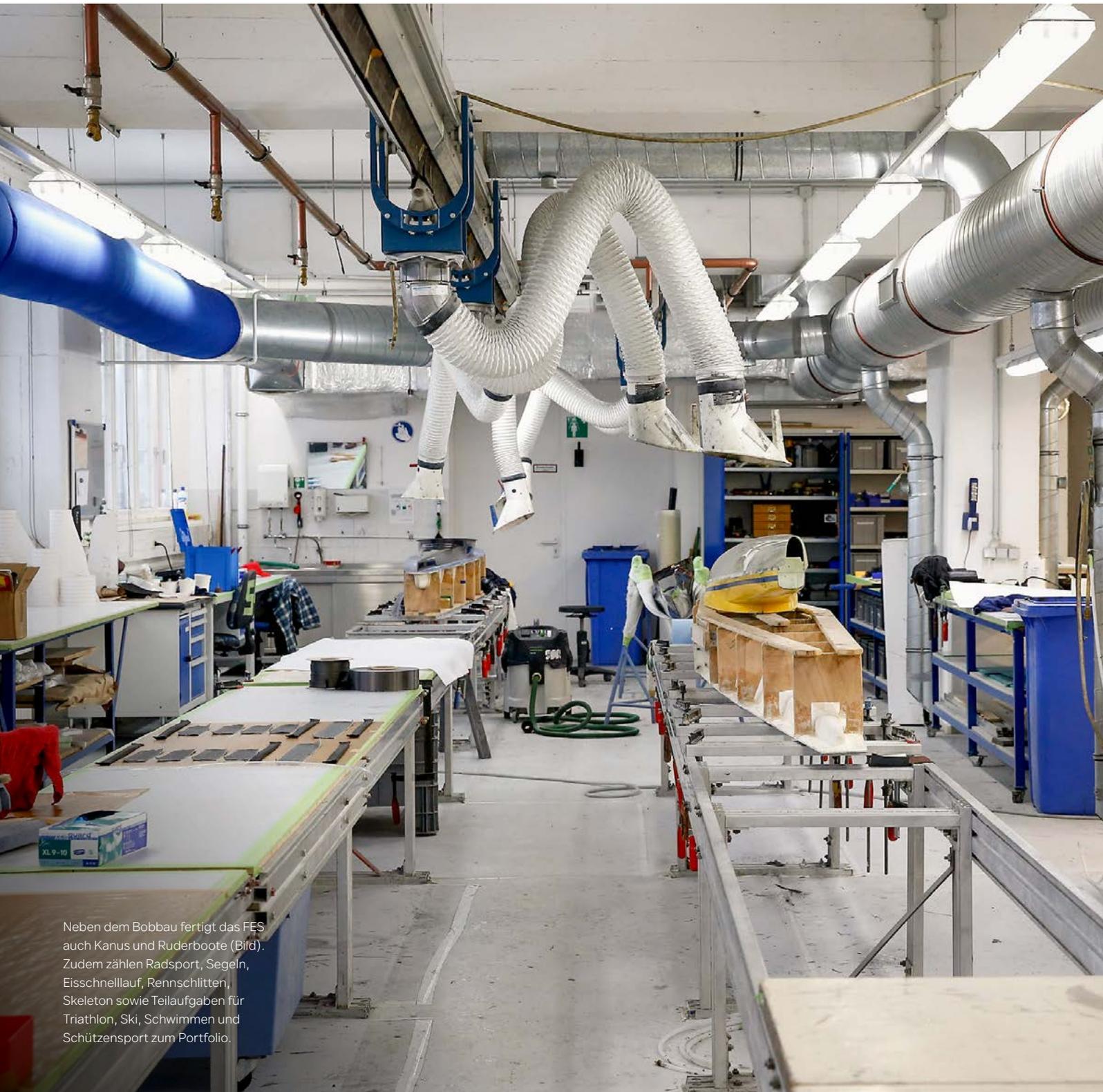
Wer hat's erfunden? Der Touchscreen

Text · Nicolas Schiffler

Ob bei Smartphones, Tablets oder Bankautomaten: Touchscreens sind ein fester Bestandteil unseres Alltags. Ihre Anfänge lassen sich bis 1965 zurückverfolgen. Am damaligen britischen Forschungszentrum des Royal Radar Establishment sah Ingenieur Eric Arthur Johnson die Notwendigkeit, Bedrohungen durch feindliche Flugzeuge schneller zu erfassen. So tüftelte er an einem Gerät, das durch simple Kupferdrähte, die durch einen Computer geführt wurden, auf Berührungen reagierte. Mithilfe dieser Technologie war es möglich, Punkte auf dem Radar zu

markieren. Bis 1940 war die Ortung noch per Schall mit auf britischem Boden installierten Stahlbetonschalen erfolgt. Johnson setzte darauf, dass ein Bildschirm die Reaktionsfähigkeit und die Kommunikation der Piloten verbessern würde – der erste Touchscreen war geboren. Dessen Funktionsweise basierte auf einem leitfähigen, transparenten Material, durch das Strom fließt und an allen vier Ecken gemessen wird. Berührt nun ein Finger den Bildschirm, lässt sich die gebildete Lücke im Spannungsfeld lokalisieren und an einen externen Computer zurückmelden. Um

eine Weiterentwicklung bemüht, baute das CERN in Genf 1973 den ersten Touchscreen mit einer festen Anzahl programmierbarer Tasten und einem computergesteuerten Zeiger. Eine Sensation, denn bisherige Bildschirme registrierten keinen Druck und sahen nur eine Berührung auf einmal vor. Das CERN-Modell erkannte zwar bloß einen Finger oder Stift und konnte deren Position nur grob eruieren. Dennoch: Der einstige Pioniergeist Johnsons war Wegbereiter für den heutigen Touchscreen-Standard.



Neben dem Bobbau fertigt das FES auch Kanus und Ruderboote (Bild). Zudem zählen Radsport, Segeln, Eisschnelllauf, Rennschlitten, Skeleton sowie Teilaufgaben für Triathlon, Ski, Schwimmen und Schützensport zum Portfolio.



Goldschmiede für die letzten Hundertstel

Wenn deutsche Sportler:innen bei Olympia oder Weltcups Medaillen holen, dann meist mit tatkräftiger Unterstützung des Instituts für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES). Sein Auftrag: Von Technologien abhängige Sportarten mit dem bestmöglichen Equipment auszustatten. Enrico Zinn, Projektleiter Bobbau, hütet hierfür einige der größten Geheimnisse des hiesigen Sports und wechselt zwischen Schreibtisch, Werkstatt und weltweiten Eiskanälen.

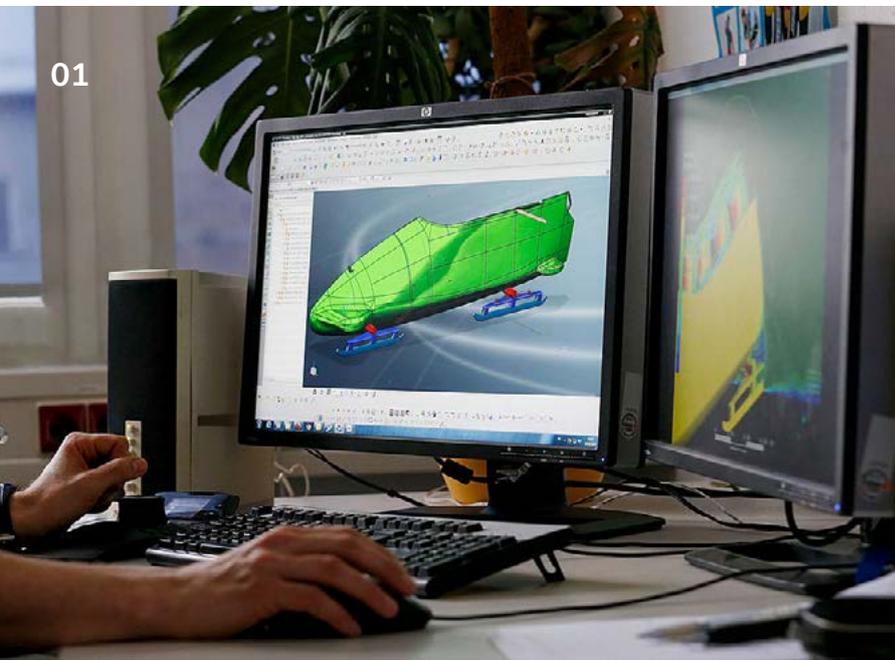
Text › Bastian Korte

Das Gebäude im Osten Berlins wirkt unscheinbar, doch schon beim Betreten des Foyers wird deutlich, dass hier Träumen auf die Sprünge geholfen wird: Eine über 4 m lange Tafel präsentiert stolz alle Titelträger:innen mit FES-Ausrüstung. Über 150 olympische Goldmedaillen haben Spitzensportler:innen mit den Hightech-Entwicklungen seit Institutsgründung 1963 eingefahren. „Wir dienen dem deutschen Leistungssport“, formuliert es Entwicklungsingenieur Enrico Zinn bescheiden. Den historischen Triumph – alle drei Plätze auf dem Treppchen – im Zweierbob der Männer bei Olympia 2022 in Peking nennt er, der live vor Ort war, „einen Beleg unserer Arbeit.“

Bereits zu DDR-Zeiten setzte das Institut Maßstäbe und deklassierte die Konkurrenz – etwa mit Ruderbooten und Fahrrädern aus leichterem Karbon. Heute sind hier 80 Mitarbeitende – einige selbst ehemals im Leistungssport aktiv – aus

diversen Bereichen tätig: Sportingenieurwesen, Elektrotechnik und Mechatronik, Soft- und Hardware-Entwicklung, Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Faserverbundtechnik, CNC-Fräsen und vieles mehr. Das breit aufgestellte Team ist kein Zufall, denn zum einen entwickeln und fertigen seine Mitglieder Sportgeräte für bis zu 14 Sportarten. Zum anderen werden dafür stets neueste Tools und Erkenntnisse aus anderen Branchen wie der Automobilindustrie oder Mess- und Informationstechnik herangezogen. Zinn erklärt: „Wir übertragen wissenschaftliche und industrielle Standards interdisziplinär auf Sportgeräte.“ Denn gerade in jenen Sportarten, wo die körperlichen Grenzen nahezu ausgereizt sind, kommt dem Material und seinem Engineering eine enorme Bedeutung zu. Bevor die Hightech-Bobs, bestehend aus einer Hülle aus Kohle- und Glasfaser sowie einem Fahrwerk aus Stahl, mit bis zu 130 km/h die Bahn hinuntergleiten, steht

01



02



01-02

Mittels CFD-Software (Computational Fluid Dynamics) lässt sich auch die kleinste Veränderung an der Außenhülle des Bobs im Strömungsverhalten ablesen und so die Performance prognostizieren.

jedoch die Konstruktion im Fokus. „Aus Reglement-Änderungen, den Rennen und den Gesprächen mit den Athlet:innen ergeben sich immer wieder neue Optimierungspotenziale. Dann befüllen wir unsere Software-Modelle mit neuen Ideen, um Vorhersagen über das künftige Aerodynamik- und Fahrverhalten des Boliden zu treffen. Das Programm ist so genau, dass selbst die kleinste anders konzipierte Schraube die Simulation beeinflusst“, erläutert Zinn beim Gang durch die Werkstätten, in denen es nach frisch

angerührtem Kunstharz riecht. Der Grund für diesen Software-first-Ansatz liegt auf der Hand: Stets einen neuen Bob zu bauen und erst dann zu testen, ob die Performance stimmt, wäre schlichtweg zu kosten- und zeitintensiv. Passen die Parameter im virtuellen Windkanal, folgen Laborprüfungen hinsichtlich Steifigkeit oder auch Dämpfung. Danach erst stehen die Fertigung und Fahrten an der Bahn sowie die Validierung im echten Windkanal mit dem neuen Modell und seinem Vorgänger an.

Virtueller Windkanal: Software first

Nach einem typischen Arbeitstag gefragt, winkt Enrico Zinn ab: „Das entscheidet die Jahreszeit.“ Im Sommer ist Konstruktionsphase, im Herbst geht es um Test und Auswertung an den Bahnen. Hier muss Zinn auch immer mal wieder das Setup des Bobs adaptieren. Im Winter ist das Team voll im Weltcup-Modus: Endlich darf sich die FES-Karosserie im Wettkampf beweisen. „Da habe ich dann schweißnasse Hände, ob alles so funktioniert wie geplant“, grinst Zinn. Im Vierjahres-Turnus müssen zudem neue Projektanträge geschrieben werden. Da sitzt der Ingenieur auch mal wochenlang nur am Schreibtisch. „Ich schätze diese Abwechslung an meinem Job. Nach der Konzeption betreuen wir den gesamten Fertigungsprozess. Da kann ich einfach zwei Etagen tiefer in die Werkstatt gehen und mich mit der Montage-Abteilung direkt am Bauteil austauschen.“ So würden Probleme rechtzeitig erkannt und behoben. Das ist wichtig, denn der Leistungsdruck ist hoch. Bleiben die Erfolge auf der Strecke, steht das vom Bundesministerium des Innern finanziell geförderte FES automatisch mit in der öffentlichen Kritik. „Damit muss man umgehen können“, sagt Zinn lapidar.

Besondere Umstände, die sich auch auf das Firmengebäude auswirken: Um das eigene Know-how sowie die streng geheimen Neuentwicklungen zu schützen, ist es

mehrfach gesichert und auch die IT gegen Hackerangriffe gewappnet. Sind die Bobs auf Tournee, werden sie außerhalb der Einsätze mit Planen vor neugierigen Blicken verdeckt. Der Sachse schränkt aber ein: „Alles können wir nicht verstecken, die TV-Kameras laufen ja auch mit. Entdecken wir dann später eine Bauteilkopie bei einem Kontrahenten, sehen wir das teils auch als Ritterschlag.“ Bis zu 1.200 Arbeitsstunden stecken in einem fertigen Viererbob, der um die 100.000 € wert ist. Dabei ist jeder Bob ein Unikat, wenngleich standardisierte Baugruppen für viele Komponenten die Basis bilden. „Wir ermöglichen den Sportler:innen sehr viel Mitspracherecht und fordern dies auch ein. Direkte oder indirekte Lenkung, die Art der Lagerung und der Komfort der Sitzschale – vielerorts schneiden wir das Sportgerät individuell auf die Körpermaße und Bedürfnisse der Pilot:innen zu. Aber bei aller Perfektion müssen wir auch auf Effizienz und unser Budget achten“, unterstreicht Zinn. Und teilweise sind der Tüftelleidenschaft auch offizielle Grenzen gesetzt: „Die

Kufenaufhängung beim Bob ist im Regelwerk so strikt definiert, da ist kein Spielraum für Sonderanfertigungen.“ Während andere Verbände vor großen Events den Bobbau temporär an Firmen oder Universitäten auslagern, wird das Fachwissen für den deutschen Sport im FES-Kosmos über Jahrzehnte konserviert – ein riesiger Vorteil. Dennoch betont Zinn: „All die Vorarbeiten sind nichts wert, wenn direkt an der Bahn im laufenden Betrieb nicht exakt am Fahrzeug geschraubt und feinjustiert wird. Denn dann ist auch der innovativste Bob zu langsam.“ Deshalb ist die Anspannung gerade bei Olympia, dem Vierjahres-Highlight, immer groß. Das gesamte Team versammelt sich dann vor dem Fernseher und ist im Erfolgsfall stolz und erleichtert, seinen Beitrag geleistet zu haben. Denn am Medaillenerfolg misst sich die Daseinsberechtigung des Instituts. „Es geht für uns immer darum, die letzten Hundertstel herauszuholen“, bringt es Zinn auf den Punkt. Hier beim FES, wo pures Gold produziert wird – wenn auch nur im übertragenen Sinne.



Porträt Enrico Zinn

Enrico Zinn (42) studierte Maschinenbau an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Bereits seine Master-Thesis schrieb er unter dem Dach des FES. Seit 2008 ist der gebürtige Sachse dort fest angestellt und leitet mittlerweile den Bereich Bobbau. Dem Leistungssport war Zinn auch davor schon eng verbunden – als passionierter Radsportler fuhr er nationale und internationale Rennen.



Strahlende Gesichter bei der Siegerzeremonie (v. l. n. r.): Johannes Lochner mit Florian Bauer (Silber), Francesco Friedrich mit Thorsten Margis (Gold) und Christoph Hafer mit Matthias Sommer (Bronze).



Revolution der Wetterdatenmessung

Text › Nicolas Schiffler

Wer kennt es nicht: Ein kurzer Blick auf die Wetter-App, um zu entscheiden, ob eine Jacke angezogen werden muss oder ob ein Regenschirm benötigt wird. Damit realistische Wettervorhersagen möglich sind, steigen täglich tausende mit kleinen Radiosonden ausgestattete Latexballons in etwa 33 km Höhe. Sie ergänzen Datenerfassungen von bodennahen Stationen sowie via Flugzeug, Schiff oder auch Boje. Aus der Luft übermitteln die Ballons Messdaten wie Temperatur, Feuchtigkeit und Luftdruck an Wetterstationen auf der Erde. Das Problem: Auf ihrer Reise in die Stratosphäre zerplatzen sie nach einer Flugdauer von zwei bis drei Stunden und setzen in den Sonden befindliche Schadstoffe wie Lithium frei, die anschließend in die Umwelt gelangen. Hier knüpft der 17-jährige Amon Schumann an.

„Ich interessiere mich schon seit zwei Jahren für die Wetteraufzeichnung und die damit verbundene Technik. Während eines

Besuchs in einem Meteorologie-Museum kam ich auf die Idee, die Gewinnung von Wetterdaten nachhaltiger zu gestalten“, erklärt Schumann die Themenwahl für sein Projekt im Rahmen von „Jugend forscht“. In seiner Freizeit ist der junge Wissenschaftler begeisterter Amateurfunker. Bei der Ausübung seines Hobbys gelang es ihm, die Funksignale von gestrandeten Sonden aufzufangen und schließlich zu orten. Sie lassen sich somit wieder einsammeln und zum Teil auch wiederverwerten, wodurch Kosten und Umweltbelastung verringert werden könnten.

Nach diesem ersten Erfolg war Schumanns Innovationsgeist geweckt: Er entwickelte über 18 Monate hinweg einen nachhaltigen Wetterballon mit einer solarbetriebenen Sonde. „Mein Ziel war es, die Flugzeit der Ballons deutlich zu erhöhen“, erläutert der Jungforscher. Der Schüler aus Berlin setzte auf recycelbare, metallisierte und zusammengesweißte Folienschichten für die

Konstruktion seines Prototyps. „Aufgrund der veränderten Beschaffenheit können meine Wetterballons bis zu 52 Tage lang in der Luft bleiben“, bilanziert er. Auch die Radiosonde ist besonders langlebig, günstig sowie mit 4,8 g um einiges leichter als die von den Wetterdiensten verwendete. Dank einer eigens entwickelten Software werden gesammelte Mess- und Telemetriedaten weltweit empfangen, in Echtzeit ausgewertet und im Internet dokumentiert.

Mit diesem revolutionären Ansatz errang Schumann 2021 nicht nur den „Jugend forscht“-Bundessieg, sondern ein Jahr später auch sechs Auszeichnungen bei dem Nachwuchsforscherwettbewerb „Regeneron ISEF“ in Atlanta, USA. „Ich war gleichzeitig überrascht und überwältigt“, erinnert er sich an die Preisverleihung zurück. Derzeit studiert Amon Schumann Elektrotechnik – sein Projekt hat er bereits dem Deutschen Wetterdienst vorgestellt.

Impressum

Redaktionsanschrift

Brunel GmbH | Redaktion Spezialist:in
Franz-Rennefeld-Weg 4
40472 Düsseldorf
spezialist.in@brunel.net
T +49 211 695 600-43

Herausgeber und Erscheinungsweise

Brunel GmbH | 1 Ausgabe pro Jahr,
Auflage 6.950 Stück

Verantwortlicher Redakteur (v. i. S. d. P.)

Jilko Andringa, CEO, Brunel International
N. V., Brunel GmbH

Redaktion

DIALOG Public Relations, Bremen

Gestaltung

GfG | Gruppe für Gestaltung GmbH,
Bremen

Lektorat

Textgärtnerei®, Bremen

Druck

Druckerei Girzig + Gottschalk GmbH,
Bremen

Fotografie (Copyrights)

Gruppe für Gestaltung GmbH / Michel
Iffländer (Cover, S. 4 links unten und
rechts, S. 12–15, S. 22–25), Gruppe für
Gestaltung GmbH / Anika Falke (S. 2),
Brunel GmbH (S. 3), DLR (S. 4 links oben,
S. 6–7, S. 9 rechts), DFKI / Thomas Frank
(S. 5 links oben, S. 30–31 02+03), Solar
Foods (S. 5 links unten, S. 34–37), Getty
Images / Boris Streubel (S. 5 rechts,
S. 44–45, S. 46 01), Synhelion (S. 8–9
01+02), Kas van Zonneveld (S. 10 oben),
Steffen Loth (S. 10 unten), DLR, Gruppe
für Gestaltung GmbH / Dustin Schröder
(S. 11), A. Papargyriou/M. Reichert,
TU München (S. 16–17), Roche Pharma
AG, Gruppe für Gestaltung GmbH /

Dustin Schröder (S. 18–19 Mitte), Wilko
Weichert (S. 19 rechts), iStock / janiec-
bros (S. 20), Zentrum für Krebsregister-
daten, Gruppe für Gestaltung GmbH
/ Dustin Schröder (S. 21), Deutscher
Zukunftspreis / Ansgar Pudenz (S. 26),
iStock / luismmolina (S. 27 oben), IMAGO
/ Klaus Martin Höfer (S. 27 unten), DFKI
/ Jürgen Mai (S. 29), DFKI / Annemarie
Popp (S. 30 01), UNCCD (S. 32–33),
Alamy Stock Photo / Granger – Historical
Picture Archive (S. 38), RKI (S. 39, S. 40
02, S. 41), Archiv der HU zu Berlin / RKI
(S. 40 01), Science Photo Library / EYE
OF SCIENCE (S. 42), picture alliance /
dpa / Michael Kappeler (S. 46 02),
FES / Enrico Zinn (S. 47 oben), picture
alliance / Johann Groder / EXPA /
picturede (S. 47 unten), Jugend forscht
/ Max Lautenschlaeger (S. 48), iStock /
yangphoto (S. 49)



Mehr als 2.800 Spezialistinnen und
Spezialisten im Engineering und in
der IT allein in der DACH-CZ-Region



Globales, leistungsstarkes Netzwerk
aus qualifizierten Fachkräften an
über 120 Standorten in 40 Ländern



Wir sind der Schlüssel zu wegweisenden
Projekten und ein wichtiger Treiber für
innovative technologische Entwicklungen

Brunel



DIALOGPOST
Ein Service der Deutschen Post

ALLEMAGNE Port payé

Brunel GmbH | Franz-Rennefeld-Weg 4 | 40472 Düsseldorf

Brunel GmbH
Franz-Rennefeld-Weg 4
40472 Düsseldorf

T +49 211 695 600-43
brunel.net
spezialist.in@brunel.net