

I. 2021
thema
[**wissen**]

zwei



Ein Heft über

**schlaue Ameisen,
Science-Fiction-Denke
und die unfassbare
Intelligenz der Zellen**

I. 2021
thema
[wissen]

Impressum

Herausgeber – Pfizer Deutschland GmbH
Gesamtverantwortung –
Susanne Straetmans
Redaktion – Tim Braun, Juliane Petzold,
Henning Hesse, Kirsten Wörnle/Kairos
Redaktionsbüro
Mitarbeitende dieser Ausgabe –
Christine Böhringer, Angelika Friedl,
Delphine Korth, Jan Rübel, Klaus Wilhelm

Lektorat – Dr. Sonja Schneider,
Dana Haralambie
Gestaltung und Realisierung –
Bohm und Nonnen,
Büro für Gestaltung GmbH
Layout – Steven Dohn
Fotografien – BioNTech/Pfizer [Titel];
NASA [S. 2]; Domcar C. Lagto/Pacific
Press Agency/Alamy Live News [S. 9];
Sergey Ryzhov/shutterstock;
Biletskiy_Evgeniy/istockphoto [S. 11];
getty images/Josh Edelson/AFP [S. 12];
getty images/Bettmann [S. 16];
Archives and Special Collections, Vassar
College Library [S. 19]; Sports Images/
Dreamstime.com, Wikimedia Commons/
Lyubomir Ivanov, Sk_Advance studio/
shutterstock [S. 20]; KostiantynL/
shutterstock, Ben van Meerendonk/AHF/
collectie IISG, Amsterdam, maxpixel.net
[S. 22]; getty images/Andreas Feininger
[S. 41]; Nick Veasey [S. 42]; gustoimages/
science photo library, Vlad_Nikon/
shutterstock [S. 44f]; GermanVectorPro,
POR666/shutterstock [S. 46]; Davide
De Martin/ESA - Hubble [S. 48]; SciePro/
shutterstock [S. 49]; Alhovic/shutter-
stock [S. 52]

Illustrationen – Patrick Rosche/
die illustratoren [S. 26ff.]; Jens Bonke
[S. 32f]; Armin Schieb/Sepia [S. 36ff.];

Druck – G. Peschke Druckerei GmbH

Kontakt – zwei, Susanne Straetmans,
Pfizer Unternehmenskommunikation,
Linkstraße 10, 10785 Berlin,
Telefon +49 (0)30 550055-53049,
E-Mail: susanne.straetmans@pfizer.com

www.pfizer.de/zwei-magazin
www.landdergesundheits.de



zwei erscheint in deutscher Sprache. Alle
Rechte sind vorbehalten. Namentlich ge-
kennzeichnete Beiträge geben nicht in jedem
Fall die Meinung des Herausgebers wieder.
Nachdruck und elektronische Verbreitung
von Artikeln, auch auszugsweise, sind nur
mit Genehmigung der Redaktion möglich.

Die US-Astronautin
Christina Koch
an Bord der Inter-
nationalen
Raumstation ISS.



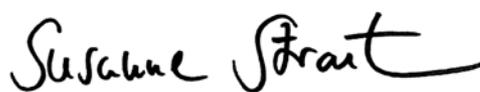
Wir wissen wohl, wer wir sind, aber nicht, was wir werden können.

William Shakespeare

Liebe Leserin, lieber Leser,

Ich erinnere mich noch genau an jenen unerwarteten Anruf im letzten November: „It’s positive“, sagte mein Kollege Andy nur, einer unserer globalen Pressesprecher. Mit „it’s“ meinte er die Daten aus der klinischen Phase-II/III-Studie des COVID-19-Impfstoffs von BioNTech/Pfizer. Ein Gänsehautmoment! Über Monate hatte uns die Welt über die Schulter geschaut, wie jahrelange Erkenntnisse und intensive Forschung in einen Impfstoff übersetzt wurden. Jetzt gelang es, all dieses Wissen greifbar werden zu lassen. Anlass für uns, diese Ausgabe dem Thema „Wissen“ zu widmen. Jenem Gut, das uns zusammenhält und in die Zukunft trägt.

Eine inspirierende Lektüre wünscht Ihnen,



Susanne Straetmans

Schreiben Sie mir gern unter:
susanne.straetmans@pfizer.com

Wo das Wissen

Jedes Jahr kürt das renommierte Journal „Science“ die zehn Spitzenentdeckungen der Wissenschaft. Welche Erkenntnisse haben es seit dem Jahr 2000 geschafft? Eine Übersicht.

Fett gedruckt ist übrigens die jeweilige **Top-Erfindung des Jahres**.

BIOLOGIE

- Überpotenzielle Vorfahre aller Zellen mit Zellkern entdeckt **2019**
- Die „forensische Genealogie“ findet potenziellen Serienmörder aus den 1980ern **2018**
- Die Embryonalentwicklung wird mit der Einzellanalyse Zelle für Zelle analysiert 2018**
- Neues Wissen über einige der ersten Tiere der Welt vor über 500 Millionen Jahren durch molekulare Studien **2018**
- „Liquid droplets“ aus Proteinen und RNA entpuppen sich als Steuerungselement in Zellen **2018**
- Neue Menschenaffenart „Pongo tapanuliensis“ entdeckt **2017**
- RNA lässt sich mit einem CRISPR-ähnlichen Enzym zielgenau verändern **2017**
- Forscher klären „Designer-Proteine“ **2016**
- Erstmals Eizellen aus dem Labor **2016**
- Die Gen-Schere CRISPR/Cas9 hat sich in den Lebenswissenschaften etabliert 2015**
- Forscher haben das genetische Alphabet der Natur erweitert **2014**
- Nachweis, dass sich die Gen-Schere CRISPR-Cas9 grundsätzlich im Labor nutzen lässt **2013**
- Aus Körperzellen des Menschen lassen sich Embryonen klonen **2013**
- Das älteste Aufkündigung der Struktur eines Proteins der Photosynthese **2012**
- Das älteste menschliche Stammzellen lassen sich fruchtbar machen **2012**
- Mit bestimmten Proteinen (TALENS) lassen sich Gene verändern oder inaktivieren **2012**
- Entdeckung, dass 80 Prozent des menschlichen Genoms aktive Funktionen ausüben **2012**
- Schnelles Erbschlusselung ganzer Genome durch „Next Generation Genomics“ 2010**
- Mit synthetischer RNA lassen sich Körperzellen effizienter, denn je zu Stammzellen umprogrammieren **2010**
- Aufklärung der Struktur eines Moleküls, das Pflanzen vor Trockenheit schützt **2009**
- Lyse Sequenzier-Methoden erlauben die immer schnellere Entschlüsselung ganzer Genome **2008**
- Neue Sequenzier-Methoden erlauben die immer schnellere Entschlüsselung ganzer Genome **2008**
- Detaillierte Video-Beobachtung von Zellen im sich entwickelnden Embryo eines Fisches **2008**
- Die Struktur eines wichtigen G-Proteins, das an etlichen Krankheitsprozessen beteiligt ist, wird entschlüsselt **2007**
- Beobachtung dynamischer genetischer Veränderungen liefern Einblicke in die Evolution der Lebewesen **2006**
- Entdeckung einer neuen Gruppe von RNA-Molekülen **2006**
- Genetische Beschreibung der Evolution von Arten bis ins kleinste Detail 2005**
- Entschlüsselung der Pflanzenblüte und anderer Vorgänge in Pflanzen **2005**
- Detaillierte molekulare Beschreibung eines Kalkkanals von Zellen **2005**
- Nachweis, wie stark die Zahl der Pflanzen- und Tierarten weltweit abnimmt **2004**
- Aus Wasserproben vom Meeresgrund oder von Erztminen isolieren Forscher ganze Genome von Organismen **2004**
- Nachweis, dass sogenannte „Junk-DNA“ die Aktivität von Genen mit reguliert **2004**
- Erstmals Aktivität einzelner Moleküle in Zellen beobachtet **2004**
- Ei- und Spermazellen gehen aus den gleichen embryonalen Stammzellen hervor **2003**
- Entdeckung, warum das Y-Chromosom als einziges als Einzelgänger funktioniert **2003**
- Nachweis, dass RNA in der Steuerung von Genen eine wichtige Rolle spielt **2002**
- Entdeckung eines neuen Photorezeptors in der Netzhaut von Säugetieren **2002**
- Entschlüsselung des Genoms wichtiger Organismen, z. B. von Reis **2002**
- Erste Entdeckung auf Zellen Proteine, die „Hitze“ detektieren **2002**
- Verfeinerung der Genomsequenz von Mensch, Maus und 60 weiteren Organismen **2001**
- Die RNA-Interferenz wird entdeckt **2001**
- Das gesamte menschliche Genom ist entschlüsselt, ebenso die Genome weiterer Organismen 2000**
- Gewebezellen werden erstmals in andere Typen von Körperzellen „umprogrammiert“ **2000**
- Die Struktur von Ribosomen wird detailliert entschlüsselt **2000**

BIOMEDIZIN

Impfstoffe gegen COVID-19 2020

Erste Gentherapie mit der „DNA-Schere“ CRISPR-Cas9 **2020**

Forscher entwickeln, wie das DNA-Element „Elite“ vor HIV/AIDS schützen kann **2020**

Nahrungsergänzungsmittel, die die Darmflora verändern, könnten die Mangelernährung von Kindern in vielen Ländern beheben **2019**

Ein Medikament-Cocktail gegen zystische Fibrose **2019**

Zwei Wirkstoffe bekämpfen Ebola effektiv **2019**

Die erste Gentherapie der RNA-Interferenz wird zugelassen – eine spezielle Form der Gentherapie **2018**

Ein chinesischer Forscher verändert mit CRISPR-Cas9 die Gene zweier Embryonen. Die Babys kommen zur Welt, resistent gegen HIV/AIDS. Ein ethisch höchst umstrittenes Vorgehen **2018**

Wirkstoff gegen Tumore mit ganz bestimmter Mutation unterschiedlicher Organe **2017**

Die erste Gentherapie der RNA-Interferenz wird mit einer Gentherapie behandelt **2017**

Eine Patientin mit spinaler Muskelatrophie wird mit einer Gentherapie behandelt **2016**

Blut junger Mäuse verjüngt alte Artgenossen **2015**

Die Entfernung bestimmter alter Artgenossen **2015**

Aus Stammzellen lassen sich Beta-Zellen der Bauchspeicheldrüse herstellen, die bei Typ-1-Diabetikern zerstört sind **2014**

Mit einer neuen Immuntherapie kann Krebs behandelt werden 2013

Aus pluripotenten Stammzellen wachsen im Labor Mini-Versionen von Organen **2013**

wächst

2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020

Entdeckung: Im Menschen lebende Bakterien beeinflussen Gesundheit **2013**

Bestes Design von Impfstoffen durch Strukturbiologie **2013**

Medikamente gegen HIV/Aids reduzieren das Risiko, dass der Erreger unter heterosexuellen Menschen weitergegeben wird 2011

Erforschung der Darm-Mikroben in der Ernährung und bei Krankheitsprozessen **2011**

Ein vielversprechender Impfstoff gegen Malaria **2011**

Entfernung veralteter Zellen aus Mäusen lässt die Tiere länger leben **2011**

Ein Vaginal-Gel mit einem Medikament gegen HIV/Aids reduziert die Ansteckungsrate unter Frauen und eine orale Prophylaxe die Ansteckung unter Männern und Transgender-Frauen **2010**

Die spezifischen Mutationen, die ein Dutzend seltene Erkrankungen verursachen, werden gefunden **2010**

Der **Epizisth** Rapamycin verlängert das Leben von Mäusen **2009**

Neue Strategien führen zu einem Comeback der Gentherapie **2009**

Zellen Kranker werden so umprogrammiert, dass neue Zellen wachsen, die ihnen zu Therapiezwecken zurückgegeben werden können 2008

Neue „Krebsgene“ werden gefunden **2008**

„Schlechtes weißes“ Fett lässt sich in „gutes braunes“ Fett umprogrammieren **2008**

Individuelle Unterschiede im genetischen Alphabet der Menschen gewinnen Bedeutung für die Therapie von Erkrankungen 2007

Wirktstoff gegen die Makuladegeneration **2006**

Entdeckung, dass T-Zellen der Immunabwehr sich für die Kurz- und Langzeitantwort des Immunsystems spezialisieren **2007**

„Public-private partnerships“, um auch arme Länder mit Medikamenten zu versorgen **2004**

Forscher klonieren einen menschlichen Embryo **2004**

Ein Corona-Virus verursacht SARS, das „severe acute respiratory syndrome“ **2003**

Entdeckung von Genen, die das Risiko für psychische Erkrankungen erhöhen **2003**

Nachweis, dass sogenannte „kleine“ RNA-Moleküle zahlreiche physiologische Prozesse beeinflussen, die an Krankheitsprozessen beteiligt sind **2003**

Wirktstoffe gegen die Neubildung von Gefäßen in Tumoren verlängern das Leben von Krebspatienten **2003**

Das erste „zielgerichtete“ Medikament gegen Krebs wird zugelassen **2001**

Die Bedeutung von „nuklearen Hormonrezeptoren“ für Krankheitsprozesse wird erkannt **2000**

ASTRONOMIE / RAUMFAHRT

Die Quellen von Radiowellenausbrüchen aus fremden Galaxien werden gefunden: Sterne mit Magnetfeldern, die 100-mal größer als das Erdmagnetfeld sind **2020**

Das erste Foto eines schwarzen Lochs im Universum wird gemacht 2019

Die NASA entdeckt zwei planetare Blöcke, die eine Hinterlassenschaft der frühen Jahre unseres Sonnensystems sind **2019**

Neutrinos liefern Botschaften aus dem Universum **2018**

Die Verschmelzung zweier Neutronensterne wird nachgewiesen, 130 Millionen Lichtjahre von uns entfernt 2017

Forscher weisen Gravitationswellen nach, deren Existenz Albert Einstein vor etwa 100 Jahren prophezeit hat 2016

Astronomen entdecken einen Exoplaneten im Raum um einen benachbarten Stern

(Proxima Centauri) unseres Sonnensystems **2016**

Die Raumsonde Philae landet auf dem Kometen Tschurjumow-Gerassimenko 2014

CubeSats starten ins Weltall für wissenschaftliche Missionen **2014**

Hochenergieprotonen und andere Partikel tief aus dem Weltraum kommen nachweislich aus explodierenden Sternen **2013**

Curiosity, der Mars-Rover der NASA, landet auf dem Roten Planeten **2012**

Japans Hayabusa-Raumsonde bringt Staub eines Asteroiden mit **2011**

Entdeckung zweier Wolken am Rande des Universums voller Wasserstoff, die nach dem Big Bang zwei Milliarden Jahre lang stabil blieben **2011**

Entdeckung eines Sternensystems mit zehn Planeten, die unerklärlicherweise frei im Raum schweben **2011**

Die NASA entdeckt Wasser auf dem Mond **2009**

Die Astronauten des Space Shuttle reparieren das Weltraumteleskop Hubble **2009**

Erstmals beobachten Astronomen Planeten, die andere Sterne umkreisen **2008**

Forscher beobachten, dass kosmische Strahlen beschleunigt werden, indem sie die magnetischen Felder schwarzer Löcher passieren **2007**

Instrumente detektieren Signale, die auf einen Ausbruch von Gammastrahlung durch Neutronensterne hindeuten **2005**

Die frühe Materie der Erdentstehung unterscheidet sich von der späteren Materie der Erdentstehung **2005**

Das europäische Raumschiff Huygens landet auf dem Mond Titan und entdeckt eine Welt mit Regen aus flüssigem Methan **2005**

Der Spirit Rover der NASA landet auf dem Mars und findet salziges, saures Wasser 2004

Die ersten Pulsar-Paare werden entdeckt **2004**

Neue Belege, dass das Universum überwiegend aus dunkler Materie besteht 2003

Das Verständnis der energetischsten Explosionen im Universum verbessert sich stark **2003**

Neue Erkenntnisse über Neutrinos **2002**

Ein Hightech-Teleskop erkennt Muster im Cosmic Microwave Background **2002**

Entdeckung, dass Solar-Neutrinos inkognito im Weltall unterwegs sind **2001**

Das NEAR-Shoemaker-Raumerschiff liefert Daten des Asteroiden Eros **2000**

Forscher erstellen die bisher detaillierteste Karte des frühen Universums **2000**

Forscher finden ein Material, das bei Raumtemperatur Elektrizität ohne Widerstand leitet **2020**

Eine Art molekulare Computertomografie kann die Struktur von Molekülen minutschnell aufklären – statt in Tagen oder Wochen **2018**
Neue Technologie zur Herstellung von Gläsern für Mikroskope, Kameras usw. **2016**
Neues Material für (bessere) Solarzellen **2013**

Das Higgs-Boson wird entdeckt **2012**

Ein Röntgenlaser entlarvt die Struktur eines Enzyms **2012**
Entdeckung, wie Neutrinos von einem Typ in einen anderen Typ übergehen **2012**
Bau einer Maschine, deren Bewegungen nur mit der Quantenmechanik beschrieben werden können **2010**
Entdeckung, wie Neutrinos von einem Typ in einen anderen Typ übergehen **2010**
Ein Computer verfolgt so lange wie nie zuvor die Bewegungen der Atome in einem Protein, das sich gefaltet **2010**

Forscher schaffen einen Quanten-Simulator **2010**
Vorstellung des ersten Röntgenlasers **2009**
Schaffung von magnetischen ripples, die das Verhalten von Partikeln mit nur einem magnetischen Pol simulieren **2009**

Entdeckung einer neuen Klasse von high-temperature superconductors **2008**

Der prophezierte „Quantum Spin Hall Effect“ experimentell bestätigt **2007**

Ein Speicher für überschüssige Energie aus Wind- oder Sonnenkraft wird gebaut **2006**

Neue Mikroskope mit Nanometer-Bereich kommen auf **2006**
Physiker schaffen einen sehr rudimentären „Unsichtbarkeitschild“ **2006**
Schätzung der Erdmasse **2006**

Der ITER-Reaktor wird in Frankreich gebaut **2005**

Eine „Kondensat“-genannte, neue Materie wird geschaffen **2004**

Bestimmte Hightech-Materialien können Licht und andere elektromagnetische Strahlung biegen und umleiten **2003**

Zellen können in dreidimensionalen Fotos abgebildet werden **2003**

Mit einer neuen Aufnahmetechnik „filmen“ Forscher das Leben in einem Atom **2002**

Fortschritte in Richtung eines Computers mit molekularen Schaltkreisen **2001**

Neue Superconductors kommen auf **2001**

Erste Bose-Einstein-Kondensate mit Helium und Kalium geschaffen **2001**

Die Grenze zwischen der „klassischen“ und der Quantenwelt verwischt **2000**

PALÄOANTHROPOLOGIE

Gemalte Jagdszenen in einer indonesischen Höhle sind mindestens 44.000 Jahre alt – das älteste Kunstwerk des Menschen **2020**

Aus der DNA eines Knochens haben Forscher das Gesicht eines Mädchens abgeleitet, das vor 50.000 Jahren lebte **2019**

Ein 50.000 Jahre alter Hybrid-Knochen eines „Denisova-Menschen“ wird gefunden, der auf eine Paarung eines Homo sapiens mit einer Neandertalerin deutet **2018**

Computer-Rekonstruktion des Schädels des ältesten Fossilfunds vom Homo sapiens, der vor 300.000 Jahren im heutigen Marokko lebte **2017**

Der Homo sapiens wanderte vor 100.000 Jahren in einer einzigen Auswanderungswelle von Afrika in den Rest der Welt **2016**

Rekonstruktion der Art und des Tempos, wie sich aus Reptilien Vögel entwickelten **2016**

Das älteste Höhlengemälde der Menschheit in Indonesien (mindestens 40.000 Jahre alt) **2014**

Das Genom eines Denisova-Menschen, der vor 74.000 bis 82.000 Jahren lebte, wird entschlüsselt **2012**

Genomanalysen enthüllen, dass wir noch heute Genfragmente anderer Homo-Arten (z. B. des Denisova-Menschen) in uns tragen **2011**

Das Genom des Neandertalers wird sequenziert **2010**

Das 4,4 Millionen Jahre alte Skelett des Vormenschen Ardipithecus ramidus und seine Umwelt werden rekonstruiert **2009**

Erbsubstanz lässt sich aus fossilen Knochen entschlüsseln **2006**

Fossil eines Jahrbundertemillionen Jahre alten Fisches wird entdeckt **2006**

Forscher finden fossile Knochen einer unbekanntem Menschenart: Homo floresiensis, der vor 180.000 Jahren in Indonesien lebte **2004**

Der sechs bis sieben Millionen Jahre alte Schädel eines Vorfahren wird in West-Afrika gefunden – der bis dato älteste Vorfahre aller Vor-, Ur- und Frühmenschen und der Menschenarten **2003**

1,7 Millionen Jahre alte Schädel eines Urmenschen aus dem heutigen Georgien repräsentieren die ersten Nachfahren von Frühmenschen, die aus Afrika ausgewandert sind **2000**

Was hinter den Superentdeckungen steckt

45 Breakthroughs in der Biologie in 20 Jahren, 38 in der Biomedizin, 30 in der Physik, 6 in der Chemie und eine in der Mathematik: Die von „Science“ ausgezeichneten Top-Forschungsleistungen zeigen immer auch, wo die Naturwissenschaften besonders vorankommen.

Möchten Sie mehr über diese Top-Entdeckungen und -Entwicklungen erfahren? Auf www.landdergesundheit.de stellen wir Ihnen die jeweiligen Jahrgangsgewinner vor, von der kompletten Entschlüsselung des menschlichen Genoms im Jahr 2000 bis zum Corona-Impfstoff 2020.

Vögel sind wohl zu einigen bewussten Gedanken fähig **2020**
Auch Orang-Utans und Bonobos (neben Schimpansen) haben Vorstufen einer theory of mind **2016**
Der emotionale Inhalt von Erinnerungen von Mäusen kann mit Laserstrahlen verändert werden **2014**
Ein neues Verfahren führt die Untersuchung und Erforschung des Gehirns in neue Dimensionen **2013**
Erkenntnis, dass sich das Gehirn im Schlaf „reingt“ **2013**
„Brain-Machine-Interfaces“ werden erprobt **2007**
Die sogenannte Langzeitpotenzierung ist der entscheidende Mechanismus, der bei Erinnerungsprozessen die Verbindung zwischen Nervenzellen stärkt **2006**
Erkrankungen wie die Schizophrenie oder das Tourette-Syndrom hängen zusammen mit einer „falschen Verdrahtung“ im Gehirn **2005**
Forscher lernen, wie molekulare Signale an den Axonen von Neuronen wirken **2001**

COMPUTER/ INFORMATIONSTECHNOLOGIE / BIG DATA

Künstliche Intelligenz entschlüsselt präzise die dreidimensionale Faltung von Proteinen **2020**
Die Ära des Quantencomputers hat begonnen **2019**
KI schlägt die weltbesten Poker-Spieler **2019**
Bau von „neuromorphen“ Chips, die Informationen ähnlich wie das Gehirn verarbeiten **2016**
KI schlägt den zweitbesten GO-Spieler der Welt **2016**
Roboter lernen zu kooperieren **2014**
Ein Computer löst das schwierige Spiel Checkers **2007**

CHEMIE

Die Kryo-Elektronenmikroskopie schießt Fotos von Molekülen, während sie interagieren **2017**
Chemiker schaffen Designer-Zeolite **2011**
Graphen wird als Material in elektronischen Geräten getestet **2009**
Neue Metalloxide mit nützlichen elektrischen und magnetischen Eigenschaften werden als Material erprobt **2007**
Durch neue chemische Verfahren wird die Herstellung pharmazeutischer und elektronischer Produkte leichter **2007**
Siegessäug von elektrisch leitendem Plastik **2000**

KLIMA

Die globalen Klimaprognosen werden präziser: Erderwärmung zwischen 2,6 und 3,9 Grad, wenn sich der CO₂-Ausstoß, verglichen zum vorindustriellen Zeitalter, verdoppelt **2020**
Das Eis in Grönland und der Antarktis schmilzt immer schneller **2006**
Die wissenschaftliche Evidenz für einen menschengemachten Klimawandel wächst **2005**
Verändertes Verhalten von Pflanzen und Tieren deutet auf den Klimawandel **2003**
Neue Daten und Modelle führen zu einem besseren Verständnis des Klimawandels **2002**

GEOWISSENSCHAFTEN

Erdbohrung entschlüsselt detailliert, wie sich die Welt der Organismen nach dem Einschlag eines Asteroiden vor 66 Millionen Jahren verändert hat **2019**
Bergung eines Eisblocks aus den Tiefen der Antarktis, der vor 2,7 Millionen Jahren entstand und das damalige Klima verrät **2017**
Forscher entdecken einen Asteroiden-Einschlag in Grönland vor 13.000 Jahren **2018**

MATHEMATIK

Das Poincaré-Theorem wird gelöst **2006**

Was Wissen schafft

Selten haben so viele Menschen die Wissenschaft geschätzt und verstanden wie heute. Und selten so angezweifelt.

Dem Laien mag es bis 2020 so vorgekommen sein, dass wissenschaftliche Erkenntnisse wie Goldklümpchen sind, die aus dem Stollen des Nichtwissens herausgehauen werden. Wissenschaft begegnete einem meist vom Ergebnis her, nach dem Motto: *Studien haben gezeigt, dass*

Einmal entdeckt, schienen solche Funde im Schatzkästchen der Menschheit zu landen – eine Sammlung an Kostbarkeiten auf der Habenseite des Lebens.

Entsprechend irritiert reagierten viele, als 2020 das Prozesshafte der Wissenschaft die Bühne betrat.

„Fragt man einen redlichen Physiker, ob es ganz unerschütterlich garantiert sei, dass morgen die Sonne aufgeht, wird er antworten: Ausgeschlossen ist es nicht, dass sie ausbleibt“, sagt der Physiker Norman Sieroka in dieser Ausgabe [Seite 17]. Wissenschaft ist wandelbar wie ein Wolkenhimmel. Sie lebt vom Mut, immer wieder nach Gründen zu fragen, und der Kraft, Beweise zu finden. Einmal Errungenes muss man auch wieder loslassen können. Wissen ist ein Wagnis, das erkannte schon Kant.

Wenn es heute heißt „unite behind science“, dann vereint man sich also weniger hinter einer Ansammlung von Wissen als hinter einer Art zu denken. Die „Sache“ ist allenfalls der wissenschaftliche Konsens, der zur jeweiligen Zeit errungen ist. Ihn zu erreichen, geht über Streit. Es ist ein Streit, der das Ter-

diskussionen unter Expertinnen und Experten kann man praktisch immer einen Konsens identifizieren. Die Frage ist nur, wie groß er ist.“

Doch das wissen Laien meist nicht und so kommt es zu Missverständnissen: Unter dem Druck der Pandemie hat die Wissenschaft den Turbo eingelegt. Forschungsergebnisse, die sonst den längeren Weg über Peer-Reviews in Fachzeitschriften nahmen, sind vorab auf Preprint-Servern zu finden. Das ist eine Chance, denn die Community sieht sofort, wer auf welcher Fährte ist, und kann aufeinander reagieren. Doch der Motor der Wissenschaft läuft zum Preis der Kakophonie. Das irritiert die Öffentlichkeit. Denn genau die Stärke des „Vorwärtsstreitens“ erscheint jetzt als Schwäche. Zumindest jenen, die den Disput wie ein Duell auffassen.

**Wir irren
uns
vorwärts**

Robert Musil

rain des Wissens absichert, festigt und erweitert. Streit soll sozusagen das Beste herausholen. „Man irrt sich vorwärts“, schreibt die Wissenschaftsjournalistin Mai Thi Nguyen-Kim in Anlehnung an ein Zitat von Robert Musil. „Selbst in den kontroversesten und hitzigsten Fach-

Der Wert des Wissenwollens

Man muss sich vor Augen führen: Wissenschaft ist und bleibt ein gigantisches Gruppenprojekt. Wie bei der Besteigung eines Achttausenders fängt kein Beteiligter ganz unten an. Wenn heute ein Mensch am Herzen operiert wird, dann steht dahinter eine ganze Ahnenkette an Wissenschaftlern: Es brauchte Charles



du Fay und Benjamin Franklin, um Elektrizität zu entdecken. Luigi Galvani und Alessandro Volta, die bemerkten, dass Elektrizität auch in Tieren erzeugt wird. Carlo Matteucci, der sah, dass das auch fürs Herz gilt. Und Augustus D. Waller und Willem Einthoven, die das Elektrokardiogramm erfanden, wodurch man erstmals Herzen überwachen konnte. Wer heute im Hightech-OP-Saal liegt, vertraut auf die Erfinderkraft von Generationen.

Auch hinter modernen Medikamenten steckt das Werk der Vielen. So brauchte es beispielsweise 7067 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und Entdeckungen aus 104 Jahren Forschung für ein modernes Krebsmedikament. In einer Studie der University of California wurden 2015 die Publikationen rund um die Zulassung eines immunonkologischen Medikaments analysiert und geschaut, wer wen zitiert. Bei den Zitierten wurde untersucht, auf wen diese wiederum rekurrerten und so weiter. So wurde die [Wo-]Manpower hinter einem einzigen Medikament sichtbar. Bei einem Präparat gegen Mukoviszidose waren es knapp 2900 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus rund 2500 Instituten.

Grundlagenforschung ist dabei so etwas wie das Basislager des Fortschritts. Es ist ein Forschen aus purem Wissensdrang. Wie schon der Höhlenmensch Stöckchen auf Stein drehte und vom Funken überrascht wurde, führt dieses

Wissenwollen immer wieder in praktische Anwendungen, an die am Anfang keiner gedacht hat. Ein Drittel bis zur Hälfte des US-Wirtschaftswachstums seit dem Zweiten Weltkrieg basiert auf Grundlagenforschung, errechnete Mariette di Christina, damalige Chefredakteurin von „Scientific American“ 2014. Auch das mRNA-Prinzip war einer unerwarteten Entdeckung zu verdanken. Der Biologie-Doktorand Ingmar Hoerr

.....

**Hinter einem modernen
Krebsmedikament
steckt die Arbeit
von 7067 Wissen-
schaftlerinnen und
Wissenschaftlern aus
5666 Instituten und
Entdeckungen aus
104 Jahren Forschung.**

.....

tüftelt Ende der 1990er in Tübingen daran, den Körper auf neue Art zu einer Immunantwort zu bringen. Er spritzt Mäusen DNA und nutzt als Negativkontrolle die RNA, die kleine Schwester der DNA, die im Körper allerdings rasch abgebaut wird. Fast keiner arbeitet damals mit RNA, so instabil ist sie. Hoerr ist sich

sicher, dass sie nicht funktioniert [also als Negativkontrolle taugt]. Doch dann liefert sie das bessere Ergebnis als die DNA. Hatte er die Proben vertauscht? Der Doktorand wiederholt das Experiment. Wieder liefert die RNA die bessere Immunantwort der Mäuse. Somit hat er in der RNA einen Boten [messenger] gefunden, der dem Körper Baupläne für die Krankheitsabwehr liefern kann – das Prinzip der mRNA-Impfstoffe. Ingmar Hoerr gründet später Curevac. Die Mediziner Özlem Türeci und Uğur Şahin, Gründer von BioNtech, untersuchen indes das Potenzial für Krebsimmuntherapien oder Impfstoffe gegen Grippe. Zwanzig Jahre Forschung mit mRNA ermöglichten 2020 den kompetentesten Aufstieg entsprechender Impfstoffe gegen SARS-CoV-2.

Wissenschaftsskepsis auf Tiefpunkt

Es war das Jahr, in dem die Kraft der Wissenschaft den Menschen ins Bewusstsein kam wie nie. Ein Jahr, in dem es einen Boost an Vertrauen gab – und er hält bis heute an: Im jüngst publizierten State of Science Index 2021 sagen 91 Prozent von 17 000 Befragten aus 17 Ländern: „Ich vertraue der Wissenschaft.“ Es ist der höchste Stand seit Beginn der jährlichen Befragung vor vier Jahren. Die Zahl derjenigen, die wissenschaftliche Erkenntnisse nur dann anerkennen, wenn sie zum eigenen Weltbild passen, sank von 42 Prozent

Die vertrauenswürdigsten Berufe

Mediziner/Gesundheitsberufe

Wissenschaftler/Ingenieure

Lehrer

Journalisten

Politiker/Regierungsvertreter

Firmenchefs

Prominente

andere

62%
58%
46%

16%

13%

10%

9%

3%

Welche Probleme sollte die Wissenschaft lösen helfen?

COVID-19-Pandemie

Klimawandel

Verschmutzung der Ozeane

Zugang zu erneuerbaren Energien

Luftqualität

Trinkwasserversorgung

Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen

Hunger

Vermeidung von Produktionsabfällen

Soziales Ungleichgewicht

Infrastruktur

Arbeitsschutz

51%
47%
41%
38%
38%
36%
29%
27%
22%
21%
20%
17%

Anderes Wissen – andere Meinung

„Der Klimawandel wird hauptsächlich vom Menschen verursacht.“

Geowissenschaftler

93%

US-Durchschnittsbürger

50%

„Der Mensch hat sich seit seiner Entstehung verändert.“

Biomediziner

99%

US-Durchschnittsbürger

65%



vor der Pandemie auf nunmehr 35 Prozent. Die Zahl derer, die explizit sagen: „Ich bin Wissenschaft gegenüber skeptisch“, ist auf einem Tief von 27 Prozent. 91 Prozent gehen davon aus, dass Wissenschaftler entscheidend sein werden für das zukünftige Wohlergehen der Menschheit. Genauso viele wünschen sich, dass Länder zusammenarbeiten, um gemeinsam wissenschaftliche Antworten auf Herausforderungen wie den Klimawandel zu finden. Drei Viertel der Befragten würden die Wissenschaft verteidigen, käme es zu entsprechenden Diskussionen. Vor der Pandemie war dazu nur jeder Fünfte bereit.

False Balance der Argumente

Die Studie zeichnet ein optimistischeres Bild als gedacht. Scheint doch in Zeiten von Social Media das Lager der Wissenschaftsgegner besonders groß. Irreführende Narrative verbreiten sich leichter als zuvor, und die fehlende Kenntnis über den Wissenschaftsbetrieb wirkt wie Wasser auf Mühlen. Allein das Bemühen um „Ausgeglichenheit“ in einer Talkshow kann zu reiner Verzerrung führen: Nämlich dann, wenn nicht evidenzbasierte Wissenschaftskritik oder gar -leugnung auf evidenzbasierte Wissenschaft trifft (false balance). Wenn die Maßstäbe also gar nicht zusammenpassen. Fußball gegen Volleyball. Das Publikum hat trotzdem den Eindruck, es stehe fifty-fifty.

Die Tatsache, dass Wissenschaft im letzten Jahr unter aller Augen arbeitete, hat das Lager der Wissenschaftsgegner sicherlich gestärkt. Dieses Ringen um Modelle, Analysen und Prognosen macht müde. Die Komplexität erschöpft. Die Art, wie im Namen der Wissenschaft politisch mit Zahlen gearbeitet wird, die so keinem

oder den Klimawandel „nur eine sehr, sehr teure Form von Steuern“ nennt, wird die Kluft zwischen Öffentlichkeit und Wissenschaftlern noch größer, als sie bereits ist: 93 Prozent der Geowissenschaftler in den USA hielten schon 2014 den Klimawandel für real und menschengemacht – dem stimmten nur 50 Prozent der Bevölkerung zu (s. Grafik).

„Eine Gemeinschaft braucht ihren Glauben an die Erkennbarkeit von Wahrheit, um überhaupt bestehen zu können“, schreibt Jan Sludarek, der sich mit Verschwörungstheorien befasst. Im postfaktischen Zeitalter hat dieser Grund große Risse bekommen. „Seit der Aufklärung ist Europa den Weg gegangen, sich auf der Basis von Fakten ein Weltbild zu verschaffen. Wenn dieses Weltbild plötzlich losgelöst oder anti-faktisch ist, dann ist das mit unserer ganzen Art zu leben sehr schwer vereinbar“, warnt Angela Merkel.

Es bleibt eine große Herausforderung, dass die Lager nicht weiter auseinanderdriften. Unser Wissen wächst rasant und wird immer komplexer. Die Menschheit wird sich zu dieser Komplexität verhalten müssen: weder Scheuklappen noch Wissenschaftsromantik. Viel eher mit der Haltung der Wissenschaft: ein aufrechtiges Interesse an Erkenntnis. Oder, wie Richard Feynman, der Physiker und Nobelpreisträger, sagte: „Wissenschaft ist das, was wir tun, um uns nicht selbst zu belügen.“ Kirsten Wörnle

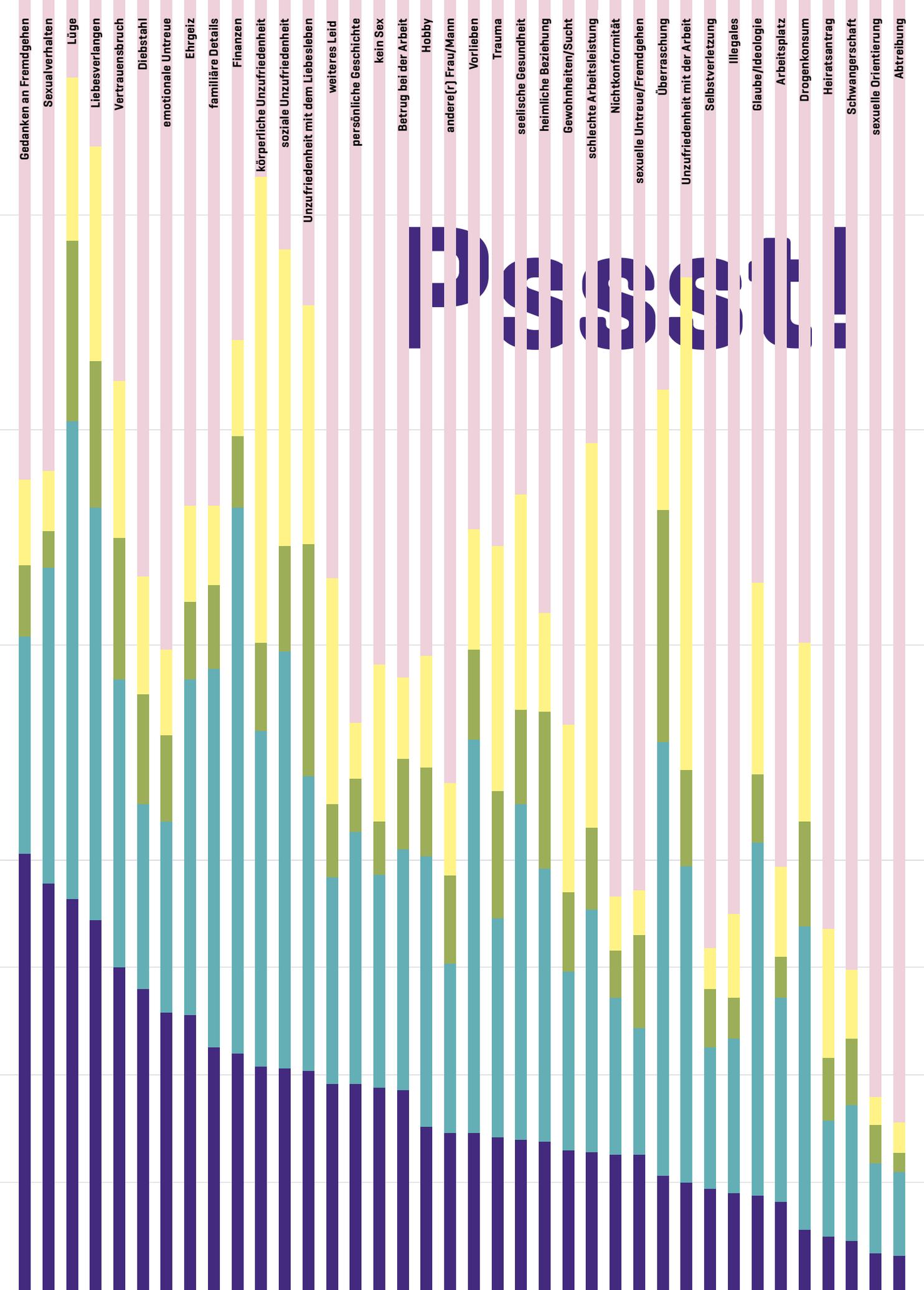
Wort des Jahres 2016:

post-
faktisch

Unwort des Jahres 2017:

alternative
Fakten

Wissenschaftler genügen, empört. Doch wenn „Science-Denialism“ es bis in die höchste Politik schafft, wird es für Gesellschaften gefährlich. Wenn ein Staatspräsident verspricht, „Corona werde wie ein Wunder verschwinden“,



500

- nicht erlebt
- erlebt, war aber kein Geheimnis
- war einmal ein Geheimnis
- ein Geheimnis vor einigen
- ein Geheimnis vor jedermann

400

300

200

150

100

50

0

38 Geheimnisse trägt jeder von uns mit sich. Fünf davon haben wir noch keinem verraten.

Sind wir mal froh, denn Barack Obama hatte tausendmal so viel: 39 240 Dokumente, markiert mit „classified“, allein in seinem letzten Regierungsjahr 2016. Der Arme, denn wer größere Geheimnisse trägt, dem erscheinen Berge steiler und Distanzen länger. Das hat der New Yorker Psychologe Michael Slepian rausgefunden, der unsere Geheimnisse untersucht und einordnet (siehe Grafik). Warum ein Geheimnis zur regelrecht physisch empfundenen Last werden kann? Weil man, wenn man ganz alleine

damit ist, dazu neigt, darüber zu grübeln. Dieses Gedankenwälzen ist die eigentliche Last. Also am besten werden wir ein paar Geheimnisse los. Wo? Entweder klassisch bei Freunden, im Beichtstuhl oder auf der Couch, oder auf eigens dafür erstellten Internetseiten. Wobei, so ganz ohne Geheimnis wäre die Welt auch nichts: „Jede Art von Kultur beginnt damit, dass eine Menge von Dingen verschleiert wird. Der Fortschritt des Menschen hängt an diesem Verschleiern“, sagte Nietzsche. Weswegen der Soziologe Georg Simmel es auch als „eine der größten Errungenschaften“ des Menschen sah.

Wie sähe eine Welt ohne Geheimnisse aus?

„ ... eine Welt ohne Geheimnisse wäre ein Himmelreich aus Licht, schlimmer als der furchtbarste Alptraum.
 Es wäre der absolute Staat. Es wäre die Wüste der Langeweile.
 Es wäre der augenblickliche Verlust aller Spannkraft.
 Es wäre eine Welt ohne Liebe, ohne Eros, ohne den Zauber der Attraktion.
 Es wäre Terror. Es wäre das Wissen als lückenloses Gefängnis.
 Es wäre Folter, wie schattenloses Licht Folter ist.
 Wir benötigen zum Leben das Dunkel und die Nacht
 so elementar, wie das Geheimnis das Leben erst lebenswert macht.“

Hartmut Böhme,
emerit. Professor für Kulturwissenschaft

„Vorstellungskraft
ist wichtiger als Wissen.
Wissen ist begrenzt.
Die Phantasie umspannt
die Welt.“

Albert Einstein, 1929

Der Posterboy der Wissenschaft fühlte sich „Künstler genug, um mich frei auf meine Phantasie zu stützen“. Von früher Kindheit bis ins hohe Alter spielte Albert Einstein Geige, gab Konzerte, korrespondierte mit Komponisten und musizierte unter anderem mit Max Planck.

Sein großes Idol war Mozart, der, so Einstein, eine Musik schuf, die „so rein und schön ist, dass ich sie als die innere Schönheit des Universums selbst sehe“. Was Einstein auch als Physiker inspirierte, wie Ehefrau Elsa beobachtete: „Er geht in sein Arbeitszimmer, kommt zurück, schlägt ein paar Akkorde auf dem Klavier an, notiert sich etwas und kehrt in sein Arbeitszimmer zurück.“ Nicht zur Ablenkung, sondern zur Unterstützung: „Ich sehe mein Leben in Form von Musik“, erklärte der Nobelpreisträger in einem Interview.

Jenseits wissenschaftlicher Beobachtung und Theorie lag für Einstein die „Musik der Sphären“, welche eine „vorher festgelegte Harmonie“ offenbarte und nur darauf wartete, von jemandem mit einem empfänglichen Ohr aus dem Kosmos herausgezupft zu werden.



„NIEMALS WERDEN WIR WISSEN, WIE ES WIRKLICH IST“

Norman Sieroka,
Physiker und Philosoph,
über Naturgesetze
und Schönheit, ihre
Fallen und seine eigene
Wissenswanderung.

Albert Einstein setzt Schönheit mit Einfachheit gleich. Das ist typisch für das Denken eines Physikers oder eines Mathematikers. Dort sucht man nach Symmetrien; nach etwas, das sozusagen gleich bleibt und einfach ist. Für Kollegen aus der Biologie zum Beispiel liegt die Schönheit oft eher im Bunten, in der Vielfalt.

Wenn ich als Wissenschaftler voranschreiten will, brauche ich Vorstellungskraft. Oder Phantasie, wie die Astronomin Maria Mitchell schon vor Einstein sagte. Auf unbekanntem Boden helfen oft Analogien: Als Physiker sich im 19. Jahrhundert mit Elektrizität beschäftigten, beschrieben sie diese wie Wasser: ein „Strom“ eben. Damit kamen sie weiter, aber nur bis zu einem bestimmten Punkt, denn natürlich ist elektrischer Strom letztlich eben nicht Wasser. Die Orientierung am bereits Bekannten, aber auch Schönheit und Eleganz können bei der Theoriebildung Kriterien sein. Je nach Disziplin schließt dies auch Experimente und mathematische Formalisierungen ein.

Es gibt keine fertigen Rezepte, um neues Wissen zu erlangen. Und es gibt,

glaube ich, selten Heureka-Momente, wie sie in Legenden kolportiert werden: Archimedes und die Badewanne, Newton und der Apfel. Es ist vielmehr ein Prozess. Zuerst habe ich die Intuition: Das ist spannend. Ich bleibe dran, mir fällt wieder etwas ein, was ich einordne, ich untersuche weiter. Man kann es als eine Art Wissenswanderung beschreiben, bei der eine dunkle Landschaft nach und nach ausgeleuchtet wird. In der einen Hand hält man eine Taschenlampe und leuchtet im Gelände ein Stück voraus. Mit der anderen hält man sich an etwas fest, das man bereits kennt, und geht nun Schritt für Schritt weiter.

So wie im dunklen Gelände benötige ich auch in der Wissenschaft Kriterien dafür, wie bzw. wohin es weitergehen soll. Schönheit und Einfachheit können eine Orientierung bieten. Aber sie können auch in eine Sackgasse führen. Wenn ich nicht zu belastbaren und relevanten Ergebnissen komme, muss ich den Mut aufbringen zu sagen: Das hat nicht funktioniert, ich leuchte und gehe jetzt woanders hin.

Die Intuition dafür, in welche Richtung man sinnvollerweise als Nächstes geht und forscht, wächst in der Regel mit der Erfahrung. Dabei ist wissenschaftliche Intuition nicht gleichzusetzen mit Anschaulichkeit. Bleiben wir beim Beispiel von Einstein und von der Physik: Moderne Theorien wie die Allgemeine Relativitätstheorie und die Quantenmechanik sind deutlich weniger anschaulich als etwa die klassische Mechanik und die Hydrodynamik. Im Studium lernt man all diese und weitere Theorien der Reihe nach kennen. Man durchläuft quasi die Geschichte der Physik, um am Ende hoffentlich deren Zukunft mitgestalten zu können.

Wissen ist kontextualisiert. Einiges werde ich sehen, anderes nicht. Was ich erkenne, hängt davon ab, wohin ich meine Taschenlampe halte. Aber es hängt auch von der Farbe ab, in der sie

leuchtet, und es hängt von der Physiologie meines Auges ab. Es bilden sich die Dinge nicht einfach 1:1 ab. Es wäre ein allzu naiver Realismus anzunehmen, dass es „da draußen“ Dinge gibt, die wir unabhängig von allem und einfach so, wie sie sind, erkennen können. Aber umgekehrt kann ich mir natürlich auch nicht einfach ausdenken, was ich sehe.

**„DAS WISSEN
IST KEINE
KISTE
VOLLER
EINZELNER
SCHÄTZE.“**

Die Physik und auch andere Wissenschaften lehren uns, dass Theorien mit der Zeit überholt werden oder sich zumindest anders einordnen. Wenn wir nicht zu anmaßend sein wollen, liegt also der Schluss nahe: Wahrscheinlich werden wir in hundert Jahren auch über unsere heutigen Theorien anders denken. Wir wissen heute, dass Newton und Maxwell nicht alles erklärten. Und in der einen oder anderen Weise wird das auch der Quantenmechanik und Relativitätstheorie so ergehen.

Frägt man einen redlichen Physiker, ob es ganz unerschütterlich garantiert sei, dass morgen die Sonne aufgeht, wird er antworten: Ausgeschlossen ist es nicht, dass sie ausbleibt. Daraus darf aber nicht der Fehlschluss gezogen werden: „Oh, dann wissen also auch die Wissenschaftler gar nicht, was da los ist ...“ Es müsste schon sehr viel Physik sehr falsch sein, wenn morgen die Sonne nicht aufgeht. Und deshalb wird es wohl auch niemand ernsthaft bezweifeln wollen.

Gerade diese Mischung aus Bewährtem und Neuem und Unwägbarem macht die Wissenschaft ja so spannend. Es ist also keinesfalls ein beunruhigendes Fazit, wenn man heute wie vor hundert oder zweihundert Jahren sagen muss: Niemals werden wir wissen, wie es wirklich ist.

Norman Sieroka ist Professor für Theoretische Philosophie an der Universität Bremen und Privatdozent an der ETH Zürich. Er hat Philosophie, Physik und Mathematik in Heidelberg und Cambridge studiert und arbeitet u. a. zum Thema Zeit und zur Naturphilosophie. In der Reihe „C.H.Beck Wissen“ sind von ihm Einführungsbände zur „Philosophie der Physik“ und zur „Philosophie der Zeit“ erschienen.



**„WIR BRAUCHEN
VOR ALLEM PHANTASIE
IN DER WISSENSCHAFT.
ES IST NICHT
ALLES MATHEMATIK
ODER LOGIK,
JEDOCH IMMER
VOLLER SCHÖNHEIT
UND POESIE.“**

**Maria Mitchell,
Astronomin
1866**



Intuition Peak

Jenseits des Verstands



Man könnte meinen, die Intuition hätte einen hohen Stellenwert, denn man hat einen Berg nach ihr benannt, den Intuition Peak. Allerdings, und das ist das Bezeichnende, ist der weit, weit weg von allem, in der Antarktis. Es ist auch nicht der große in der Bildmitte (Foto links), sondern der ganz kleine mit der gelben Nadel am linken Rand.



Die Intuition mag nur als kleine Schwester des Verstands gelten, doch das Wissen im Unbewussten ist eine große Kraft: Der Drogenfahnder am Flughafen greift nach dem Richtigen – und weiß nicht, warum. Die Kunstexperten spürt, dass mit einem Gemälde etwas nicht stimmt – und findet erst später heraus, was. Soldatinnen, Ermittler, Feuerwehrleute wittern die Gefahr – und sorgen so für Schutz.

Das gilt auch für den Sport: Würde der Ballfänger links im Bild analytisch vorgehen,

müsste er die Flugbahn berechnen, den Winkel und die Abschlaggeschwindigkeit berücksichtigen, dazu Variablen wie Wind und Drall. Doch dafür bleibt ihm keine Zeit. Stattdessen fixiert er den Ball mit seinem Blick, läuft los und rennt immer so schnell, dass sein Blickwinkel konstant bleibt – was einer Berechnung gleichkommt. Nur, dass er von dieser „Blickheuristik“ nichts weiß. Und vermutlich schlechter spielen würde, hätte er das Ganze in Worte gebracht. Als Psychologen Handballern problematische Spielsituationen vorspielten, trafen diese spontan meist die beste Entscheidung. Je mehr Zeit sie indes zum „guten Überlegen“ hatten, umso schlechter wurden ihre Lösungen.

„Thin-slicing“, „Dünnschneiden“ nennt die Psychologie die Fähigkeit des Verstands, irrelevante Informationen zu ignorieren und mit den wenigen relevanten zu jonglieren. Was



sich nicht nur im Spitzensport auszahlen kann, sondern auch das tägliche Leben erleichtert. Wer bei der Kaufentscheidung für ein Auto oder der Wahl des Fernsehprogramms lange abwägt, hat am Ende zwar eine handfeste Entscheidung getroffen, aber glücklicher ist er nicht: US-Psychologen stellten fest, dass sogenannte „Maximizer“ häufiger an Depressionen litten als „Satisficer“, die sich rasch entscheiden, fürs „gut genug“.

Die Intuition ist streetsmart – sie liefert die Faustformeln in einer Welt des Wissens. Dies gilt besonders bei der bauernschlaueren Rekognitionsheuristik, welche Wissenslücken in gute Entscheidungen verwandelt. Die Psychologen Gerd Gigerenzer und Daniel Goldstein hatten deutsche und US-amerikanische Studenten gefragt:

Welche Stadt ist größer, Detroit oder Milwaukee?

Die deutschen Studenten lagen öfter richtig. Nicht obwohl, sondern weil sie weniger wussten. Sie hatten von Milwaukee selten gehört, ihre amerikanischen Kommilitonen hingegen wussten, dass die Stadt am Lake Michigan eine Bierbrauerstadt ist und dass Ella Fitzgerald ein Lied drüber gesungen hat. All dieses explizite Wissen vernebelte den amerikanischen Studenten die Sicht. Die Deutschen wandten unbewusst die sogenannte Rekognitionsheuristik an: Kenn ich nicht, muss kleiner sein. Als das Experiment umgekehrt mit deutschen Städten durchgeführt wurde, schnitten die US-Studenten besser ab. Das ignoranzbasierte Entscheiden hatte sie jeweils ans Ziel gebracht. Manchmal ist weniger mehr.

Halbwertszeit des Wissens

Als das Raffles College in Singapur 1947 seine Bibliothek umbaute, sollte der dort unterrichtende Mathematiker Derek J. de la Solla Price die gesammelten Bände eines philosophischen Magazins bei sich zu Hause lagern. Er stapelte sie nach Jahrgängen getrennt auf und bemerkte, dass die Haufen von Jahr zu Jahr höher wurden – wie eine exponentielle Kurve.

Gibt es gar nicht!

> **Es war der Startschuss** für eine Wissenschaft, die sich mit Wissenschaft beschäftigt, die Szientometrie. Genau genommen erfasst sie rein quantitativ den Output: zählt Fachzeitschriften und neue Werke, Dokortitel und Zitate.

Zählungen wissenschaftlicher Werke gab es allerdings schon früher, nämlich in der Bibliothekswissenschaft. Man untersuchte beispielsweise, welche Fachzeitschriften eine College-Bibliothek brauche, um fachlich auf dem Stand zu bleiben.

Der Bibliothekswissenschaftler Charles F. Gosnell analysierte 1944 daraus entstandene Bücherlisten und bemerkte, dass dort in hohem Maße neue und zunehmend weniger ältere Bücher standen. Schon zuvor hatte er von der Mortalität der Bücher gesprochen: „Wie ihre Autoren werden auch Bücher alt und sterben.“ Nun vergleicht er dieses „Vergehen“ mit einem Phänomen aus der Physik: „Einige der einfachsten und befriedigendsten Analogien können auf dem Gebiet der Radioaktivität und des Zerfalls radioaktiver Substanzen gefunden werden.“

Damit war das Bild der „Halbwertszeit des Wissens“ in der Welt, ein Begriff, der die Zeitspanne bezeichnet, nach welcher die Hälfte eines Publikationsbestands – einer ganzen Bibliothek oder eines bestimmten Fachs – nicht mehr genutzt und nicht mehr zitiert wird. Heute verstehen wir darunter aber vor allem unser Wissen, das angeblich laufend seine Gültigkeit verliert. Demnach soll IT-Wissen eine Halbwertszeit von ein bis zwei Jahren haben, medizinisches von fünf – und Schulwissen von 20 Jahren.

Das wirkt so, als gäbe es Berge an obsoletem Wissen. Ein Fehlschluss, wie Dr. Torger Möller vom Deutschen Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung [DZHW] in einer Studie zeigt. Ja, das Wissen wächst rasant und vermehrt sich. Nein, es zerfällt nicht wie radioaktive Atome in einem bestimmten Takt.

Denn das hieße, dass Fachgebiete wie die Informationstechnologie oder Medizin in beträchtlichem Maße an „Wissen“ verlören. Dass jeweils die Hälfte ihrer Erkenntnisse nach wenigen Jahren kein wahres Wissen mehr sei. Das kommt eher selten vor. Viel häufiger aber entwickelt sich Wissen weiter, wird präzisiert, aktualisiert, erweitert. Das Alte geht im Neuen auf. Oder das Alte wird nur nicht mehr zitiert. Ist aber deshalb nicht gleich obsolet. Manches Wissen ist auch einfach nicht mehr nützlich, gleichwohl noch gültig. Wie eine Floppy-Disk, die heute kein Mensch mehr nutzt, die aber in einem passenden Computer immer noch laufen würde.

Genauso bedeutet auch die wachsende Zahl an Publikationen nicht automatisch wachsendes Wissen. So soll sich im 18. Jahrhundert das Wissen alle 50 Jahre verdoppelt haben, heute in vier. Gemeint ist aber: die Zahl der Publikationen.

Es sind vor allem die Quellen des Wissens, die rasant wachsen – und damit auch die Chancen auf Erkenntnis: Noch nie haben so viele Menschen den Dokortitel getragen. Noch nie hatten wir so viele Forscher. 2008 wurden weltweit ca. 1,75 Millionen wissenschaftliche Artikel veröffentlicht, 2018 waren es 2,55 Millionen Artikel [peer-reviewed]. Unsere Zeit ermöglicht Wissenschaft in einer Breite und Tiefe wie nie zuvor. Oder, mit Derek J. de la Solla Price, einem der beiden Gründer der Szientometrie, gesprochen: **„90 Prozent aller Wissenschaftler,**

In die Zukunft beamen: Wie wir von Science-Fiction lernen können





Aus der Geschichte lernen wir – und schauen so darauf, wo wir herkommen. Aber ist das die alleinige Strategie? Sollten wir nicht mehr dahin schauen, wo wir hingehen? Ein Gespräch mit dem Science-Fiction-Autor und Politologen Dirk van den Boom.

Herr van den Boom, wie neugierig ist Deutschland auf seine Zukunft?

Nicht genug! Ich sehe viel zu wenige Blicke nach vorn, sondern mehr zur Seite.

Wir brauchen also mehr Science-Fiction?

Ja, denn die Science-Fiction zeigt sich offen auch für scheinbar ferne Technologien und Potenziale. In den USA nutzt man das: Dort werden zu Konferenzen über Technikfolgenabschätzung immer wieder Science-Fiction-Autoren eingeladen – auch bei Regierungsberatungsgremien. Unsere spezielle Sichtweise ist ein Denken „out of the box“, diese Perspektiven weit über den üblichen Horizont hinaus können hilfreich sein. Oft wird ja innerhalb eines Apparats weder links noch rechts geschaut, wir dagegen treiben einen Stachel ins Fleisch und lenken die Gedanken auf ganz anderes – ohne Begrenzungen auf Bürokratie, Budget und Gesetze. In den USA wird uns diese Rolle zugestanden, in Deutschland nicht.

Was wird denn übermorgen alles möglich sein?

Wir stecken in einem technologischen Umschwung, da merkt man oft gar nicht, wie ein Ereignis oder eine Erfindung gerade unser ganzes Leben verändert. Ich denke, dass wir gerade in solch einer Singularität leben. Schon heute merken wir ja: Durch die Corona-Forschung hat es einen unglaublichen Innovationsschub gegeben – mit immensen

Konsequenzen für die Forschung zu Krebs und Demenz. Es ergeben sich Lösungsmöglichkeiten für Menschheitsplagen. Wie transformiert sich also eine Gesellschaft, in der wir die Sterblichkeit radikal verringern durch die Besiegung der meisten Krebsarten? Wie sieht unser Land aus, wenn ich mit 80 Jahren noch davon ausgehen kann, mental hellwach zu sein? Die Idee von einem „Ruhestand“ wird verschwinden, weil gerade die körperlichen Voraussetzungen für andauernde Produktivität geschaffen werden. Das wird derzeit aber überhaupt nicht diskutiert.

Warum sollten wir uns jetzt darüber Gedanken machen?

Weil diese Transformationen immer schneller ablaufen. Da riskieren wir, in unserer mentalen Entwicklung nicht mithalten zu können. Den Umgang damit müssen wir ja auch erlernen, da müssen wir unsere Taktzahl erhöhen. Nur kurz umrissen: In wenigen Jahren wird es die Möglichkeit von Hybridwesen aus Mensch und Tier geben – ist das ethisch vertretbar? Oder wie gehen wir mit der Aussicht auf völlig automatisierte Kriege um? Heute gibt es Kampfdrohnen als Nische, aber in zehn Jahren wird das keine Nische mehr sein; was heißt das für internationale Konflikte? Die Konsequenzen daraus müssen jetzt durchdacht werden. Und das tun z. B. wir Autoren von Science-Fiction.

Wie schafft man das – mehr vorhersehen?

Wir sollten vor allem systematischer und mit einer größeren Kompetenz Informationen verarbeiten. Erst dann wären wir in der Lage, eine Frage an die Zukunft zu stellen. Das ist übrigens die Stärke von uns Science-Fiction-Autoren: Wir stellen solche wichtigen Fragen, auch wenn wir oft Quatschantworten geben. Aber fragen – das kann man von uns lernen.

Was könnte Science-Fiction leisten?

Science-Fiction befreit sich erstmal von gewissen Begrenzungen des Denkens, wir lassen dem Geist einen wilderen Lauf. Nicht umsonst sind viele Naturwissenschaftler Fans – da können sie eine Menge rauslassen. Nicht wenige von ihnen wurden von Science-Fiction inspiriert und haben sich deswegen für eine wissenschaftliche Laufbahn entschieden. Übrigens traten in den 90ern des vorigen Jahrhunderts eine Menge Frauen in Amerika in den Polizeidienst, weil sie „Akte X“ mit Agent Scully geschaut hatten.

Einer, der sich viele Fragen stellt, Neugierde und Vision zeigt, ist Elon Musk. Warum wird er dennoch oft als bunter Hund belächelt?

Weil er zu einer Generation gehört, die versteht: Informationen müssen gut gemanagt und kommuniziert werden. Musk ist kein Wissenschaftler, er ist Unternehmer, zieht Talente für seine technologischen Visionen an. Er hat einen klaren Plan: den Menschen das Überleben auf dem Mars sichern, wenn sie hier auf der Erde Mist bauen. Ich folge ihm auf Twitter: Mit der Art und Weise, wie er jeden Tag von morgens bis abends mit dieser Vision nach außen tritt und zu seiner persönlichen Sache macht, seine Vision auf sich individualisiert und er seine eigene PR-Abteilung ist, gerät er zu dem, was manche einen bunten Hund nennen. Er ist authentisch.

Glauben Sie, dass er mit seiner Neuralink-Forschung und den Prognosen recht haben wird, dass wir bald Chips im Gehirn tragen werden?

Total. Für Science-Fiction ist das nicht neu: Im Subgenre des Cyberpunk ist dies schon vor 30 Jahren vorweggenommen worden. Es gibt aus vielen Laboren sehr ermutigende Forschungsergebnisse, dass blinden Menschen die Sehnerven stimuliert



werden, dass Taube wieder hören und Menschen mit Lähmungen Roboterarme befehlen werden – über einen Chip im Kopf. Irgendwann werden wir dieses Interview nicht über einen Bildschirm führen, sondern gleich über unseren Chip in der Großhirnrinde online gehen und uns direkt austauschen.

Obwohl wir heute so viel wissen, kommen wir nicht ins Handeln – etwa bei Themen wie Klimawandel, Umweltbelastungen, Überbevölkerung. Warum ist das so?

Weil wir unser Wissen nicht ausreichend verarbeiten. Schauen Sie das Hin und Her der Politik beim Pandemiemanagement an. Die hört ja nicht so auf die wissenden Experten, wie sie sollte. Denen sollte mehr Grundvertrauen geschenkt werden, dann würde Wissen rascher ins Handeln kommen. Das andere ist, dass unsere komplexe Welt heute ein multidimensionales Management braucht, aber da stehen wir ganz am Anfang mit leider zu wenigen Elon Musks. Wir versuchen zu wenig zu verstehen, was überhaupt passiert – lieber bleiben wir auf den bisherigen Gleisen. Wir betrachten zu wenig und bilden uns zu schnell Meinungen.

Aber wie stellt man sich auf das Unvorhersehbare ein?

Das kann man nicht. Man kann nur seinen Verstand schulen, damit er offen bleibt.

Mangelt es uns an kreativem Denken?

Kreativität ist an Schulen und in Universitäten leider nicht vordringlich. Immer mehr Studierende kommen in der Politikwissenschaft auf mich zu und wollen genaue Vorgaben darüber, was sie zu tun haben. Es gibt aber keine Formel, nach der ich berechnen kann, wie ich ein gesellschaftliches Phänomen am besten beobachte. Unser Bildungssystem versagt an dieser Stelle. Wir sollten mehr phantasieren! Wissenschaft wird nicht als lebendiges und atmendes Konstrukt gelehrt, sondern es werden Fakten auswendig gelernt. Wofür dieses Wissen im späteren Leben angewendet werden kann, erzählt den Schülern niemand.

Sollten wir also in der Schule mehr Science-Fiction lesen und weniger Goethe?

Das wäre so schön. Es würde uns in die Lage versetzen, für einen Moment alle Beschränkungen dessen, was sein darf und kann, abzulegen. Es gäbe Raum für ungebundene Phantasie. Gegenwartsliteratur ist notwendigerweise den Begrenzungen ausgesetzt, die uns die Welt einmal gibt. Science-Fiction ist ein Vehikel zwischen völlig freier Kreativität, einer Imagination und der Rückführung auf das, was ist. Wir sollten auch in der Schule mehr phantasieren.

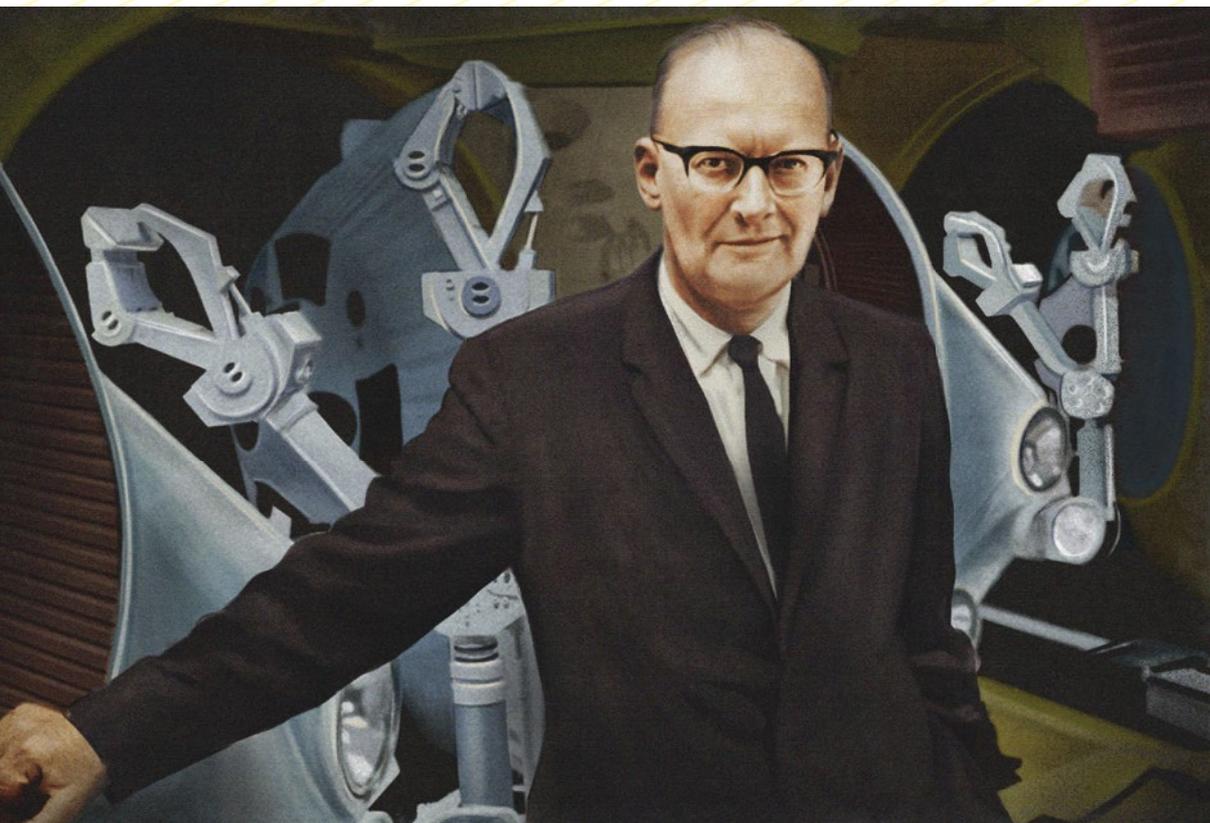
Bräuchten wir ein Zukunftsministerium?

Dies ist eine Querschnittsaufgabe. Die Fähigkeiten der Vorhersage brauchen wir in jedem politischen Bereich, sei es in der Wirtschaft, der Bildung oder der Außenpolitik. Ein Beispiel: Bei den großen Migrationsbewegungen von 2015 taten alle überrascht. Dabei hatten die deutschen Botschaften in ihren Lageberichten vorher gut beschrieben, was geschehen werde. Sie wurden bloß nicht richtig gelesen. Jedes Ministerium braucht eine Abteilung für Folgenabschätzung und Extrapolation, also das „Fortspinnen“ wissenschaftlichen Faktenwissens.

Interview: Jan Rübel

Dr. Dirk van den Boom ist apl. Professor für Politikwissenschaft an der Universität Münster und Autor von Science-Fiction-Romanen. 2017 gewann er den Deutschen Science-Fiction-Preis für den besten deutschsprachigen Roman.





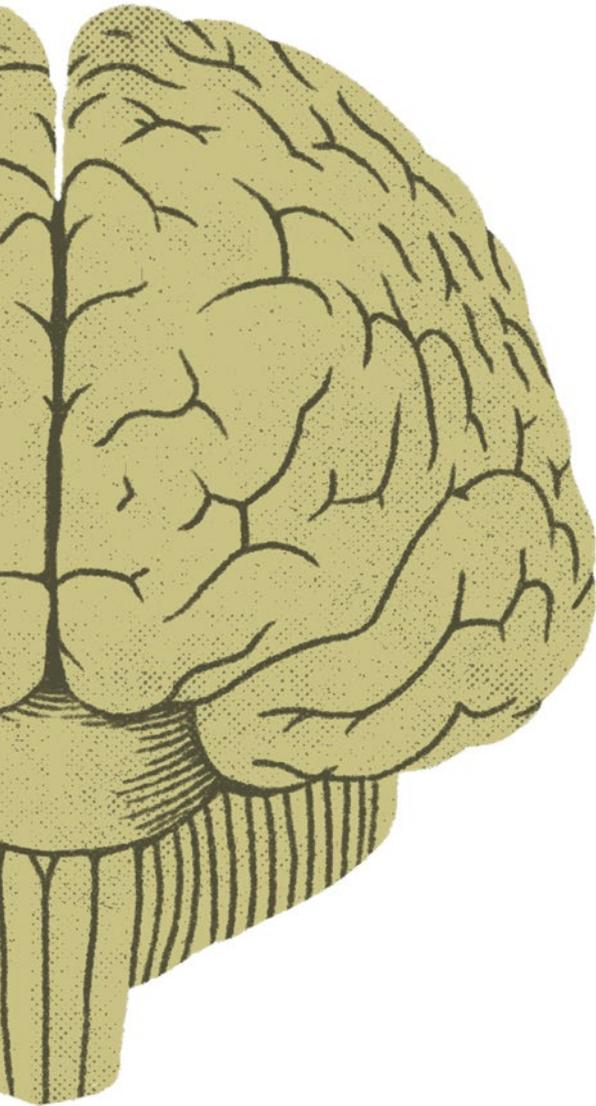
Was ist mit der Stadt von übermorgen, sagen wir im Jahr 2000?

Ich denke, sie wird völlig anders sein, ja sie wird vielleicht gar nicht mehr existieren. Oh, ich denke dabei nicht an die Atombombe und die nächste Steinzeit, ich denke an den unglaublichen Durchbruch, der durch die Entwicklungen in der Kommunikation, insbesondere den Transistor und vor allem durch die Kommunikationssatelliten, möglich geworden ist. Diese Dinge werden eine Welt ermöglichen, in der wir in sofortigem Kontakt miteinander stehen können, wo immer wir auch sein mögen, in der wir unsere Freunde überall auf der Erde kontaktieren können, auch wenn wir ihren tatsächlichen physischen Standort nicht kennen. In diesem Zeitalter, vielleicht schon in 50 Jahren, wird es möglich sein, dass ein Mann seine Geschäfte von Tahiti oder Bali aus genauso gut erledigen kann wie von London

aus. In der Tat könnte fast jede leitende Tätigkeit, jede administrative Tätigkeit, sogar jede körperliche Tätigkeit unabhängig von der Entfernung gemacht werden. Ich meine es absolut ernst, wenn ich sage, dass wir eines Tages vielleicht Gehirnochirurgen in Edinburgh haben, die Patienten in Neuseeland operieren. Wenn diese Zeit kommt, wird die ganze Welt auf einen Punkt geschrumpft sein, und die traditionelle Rolle der Stadt als Treffpunkt der Menschen würde keinen Sinn mehr machen. Tatsächlich werden die Menschen nicht mehr pendeln, sie werden kommunizieren. Sie werden nicht mehr geschäftlich reisen müssen, sondern nur noch zum Vergnügen unterwegs sein. Ich hoffe nur, dass, wenn dieser Tag kommt und die Stadt abgeschafft wird, nicht die ganze Welt in eine riesige Vorstadt verwandelt wird. <<

Arthur C. Clarke

Physiker und Science-Fiction-Autor (u. a. „2001: Odyssee im Weltraum“) im Jahr 1964



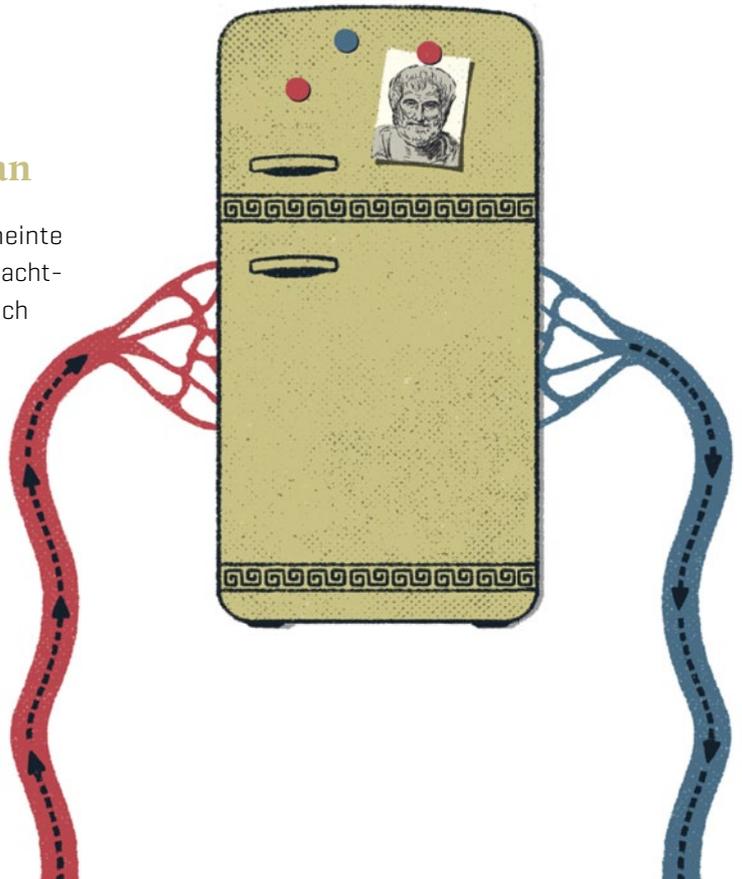
Kühlorgan, Orgelmaschine, Computer – what's next?

Wissen ist im Fluss.
Beim Blick über die Jahrhunderte fällt auf,
wie sehr die Zeiten die Erkenntnis prägen.
Etwa über das Gehirn.
Wie wurde es erklärt? Eine Zeitreise.

Aristoteles (348 – 322 v. Chr.)

Das Gehirn als Kühlorgan

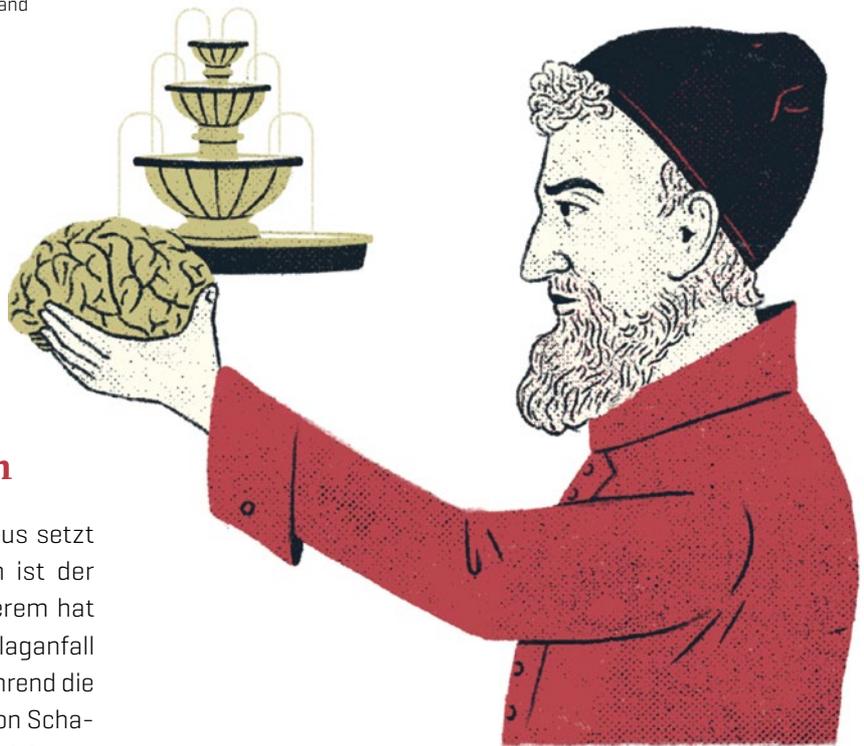
Das Hirn kühle nur das Blut ab, meinte Aristoteles. Er hielt das Herz für die Machtzentrale im Körper. Schließlich fühlt sich dieses warm und das Hirn kühl an. Dabei stellte er sich gegen ältere Theorien. Hippokrates von Kos (460 - 370 v. Chr.) hatte vor ihm dem Hirn schon eine zentralere Rolle eingeräumt, eine Kontroverse, die sich durch die Antike zieht.



Claudius Galenus
[ca. 129 – 216 n. Chr.]

Das Gehirn
als römischer Brunnen

Der römische Arzt Claudius Galenus setzt dem Streit ein Ende: Das Gehirn ist der Ursprung des Geistes. Unter anderem hat er bemerkt, dass nach einem Schlaganfall das Herz normal weiterarbeitet, während die Sinne gestört sind. An den Hirnen von Schafen und Hunden fallen ihm die Hohlräume, die Ventrikel, auf. Drückt er sie bei lebend seziierten Tieren, kann er bestimmte Reaktionen erzeugen. Er glaubt, dass es im Gehirn drei Ventrikel (Hirnkammern) gibt, durch die etwas Luftähnliches strömt wie das Wasser durch die Becken eines römischen Brunnens. Dieses Pneuma – oder auch Lebensgeist –



fließe durch die „hohlen“ Nerven wie durch ein Kanalsystem und steuere so alle körperlichen und geistigen Funktionen. Galens Vorstellung wird die nächsten Jahrhunderte Bestand haben und passt auch zum Konzept der Kirchenväter: Der Körper ist nur die Hülle der unsterblichen Seele.

René Descartes [1596 – 1650]

Das Gehirn als Orgelmaschine

Descartes überzeugt die Theorie des Hirns als eine Art römischer Brunnen nicht mehr: Menschen reagieren binnen Sekunden mit ihren Sinnen, sie bewegen sich blitzschnell – ganz anders als ein gemächlich plätschernder Brunnen. Der Körper muss wie eine Maschine sein und das Hirn die Schaltzentrale: pure Mechanik, Aktion und Reaktion. Descartes stellt sich das Gehirn wie eine Orgel vor: Der luftige Lebensodem strömt vom Gehirn über die Nerven in den Körper, angetrieben von Herz und Arterien. In der Zirbeldrüse [die wie ein Glöckchen in der Mitte des Kopfes hängt] findet der Austausch zwischen Körper und Seele statt. Auch das stellt sich Descartes recht mechanisch vor: „Die Lebensgeister stoßen die Zirbeldrüse an und reizen so die Seele zur Empfindung, die diesen Stoß ihrerseits erwidert! Nur der Mensch übrigens besitzt eine Seele. Die Tiere sind bloße Maschinen, ihre Empfindungen bloße Reflexbewegungen.“



Franz Joseph Gall (1758 – 1828)

Das Gehirn als Charakter-Schublade

Der deutsche Arzt Franz Joseph Gall meint, Begabungen und Charakterzüge an der Schädelform ablesen zu können. So hätten Mathematikgenies beispielsweise einen ausgeprägten Orbitalknochen. Ab jetzt werden Totenschädel akribisch vermessen und verglichen. Auch Descartes' Kopf wird 150 Jahre nach seinem Tod ausgegraben. Diese sogenannte Phrenologie kann sich nicht lange halten. Aber: Sie ist Ausdruck eines neuen Menschenbildes: Wenn sich geistig-seelische Zustände am Schädel ablesen lassen, haben sie einen materiellen Ursprung. Die Seele wäre dann nicht unsterblich, sondern ist von der Natur her nichts anderes als der Rest des Körpers auch. Von diesem Punkt aus startet das materialistische Projekt der Neuzeit.



Emil du Bois-Reymond (1818 – 1896)

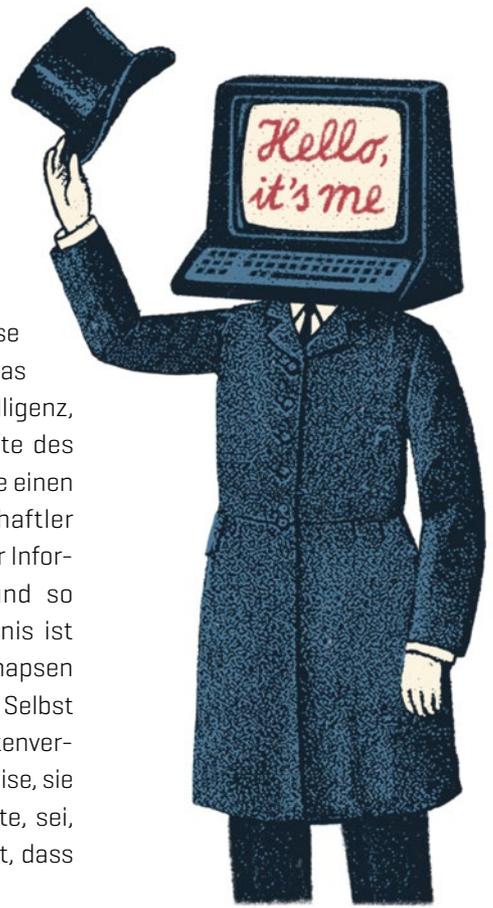
Das Gehirn als ewiges Rätsel

Schon jahrhundertlang zerbrechen sich Gelehrte den Kopf, wie aus Materie Bewusstsein entsteht, und bilden Theorien. Emil du Bois-Reymond, Erfinder der Elektrophysiologie, erklärt 1872, dass man bei dieser Frage an einer Grenze des Wissens stehe: Ignoramus et ignorabimus – wir wissen es nicht, und wir werden es niemals wissen.



Marvin Minsky (1927 – 2016): Das Gehirn als Computer

„Nichts von dem, was das menschliche Gehirn leistet, ist in irgendeiner Weise übernatürlich. Deshalb muss es möglich sein, diese Leistungen auch Maschinen beizubringen.“ Das sagt einer der Pioniere der Künstlichen Intelligenz, Marvin Minsky, 1956. Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts versteht man das Gehirn wie einen Computer. So erklärt der Neurowissenschaftler Michael Graziano, dass das Gehirn sich bei der Informationsverarbeitung selbst beobachtet und so Selbst-Bewusstsein erschaffe: „Das Ergebnis ist eine Illusion. Anstelle von Neuronen und Synapsen nehmen wir eine geisterhafte Präsenz – ein Selbst – im Kopf wahr. Aber das Ganze ist reine Datenverarbeitung.“ Die Maschine denke fälschlicherweise, sie trage Magie in sich. Was es zu erklären gelte, sei, „warum das Hirn als Maschine darauf besteht, dass es diese nichtkörperliche Eigenschaft hat.“

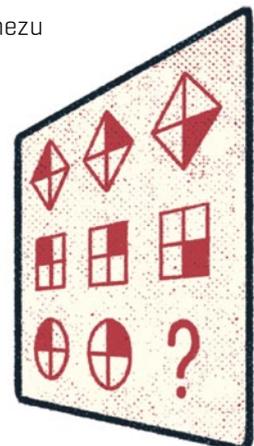


Max-Planck-Gesellschaft (heute)

Auf der Suche nach dem Schaltplan

„Das menschliche Gehirn ist das komplizierteste Organ, das die Natur je hervorgebracht hat“, schreibt die Max-Planck-Gesellschaft: Mit 100 Milliarden Nervenzellen mit mindestens 100 Billionen Synapsen und ca. 5,8 Millionen Kilometer langen Nervenbahnen schafft es mehr als ein Supercomputer. Der Traum: Herauszufinden, wie benachbarte und weiter entfernte Nervenzellen miteinander

verknüpft sind, und das Gewirr aus lokalen und überregionalen Verbindungen – das „Konnektom“ – in einen ultimativen Schaltplan zu bringen. So wollen Wissenschaftler lernen, wie das menschliche Gehirn funktioniert. Zurzeit wird das bei den einfacher aufgebauten Gehirnen von Mäusen und Zebrafischen untersucht. So besitzt das Gehirn einer Zebrafischlarve lediglich 100 000 Nervenzellen und damit eine Million Mal weniger als das des Menschen. Da es nahezu transparent ist, kann man mit Mikroskopen ins Gehirnnere blicken.

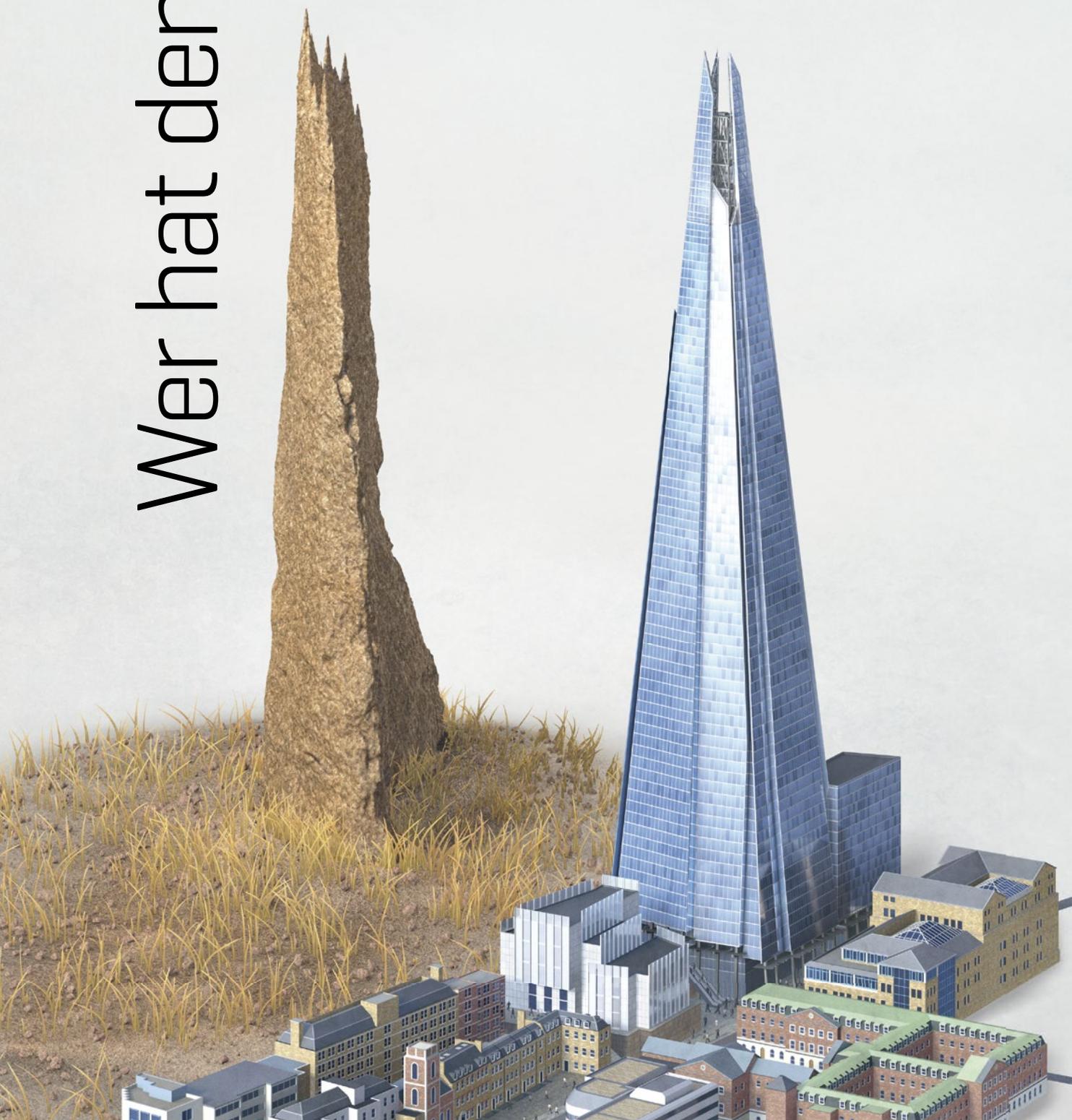


Wer hat den Plan?

Ein „Hügel“ von australischen Kompass-Termiten
nahe Darwin, gebaut von einer Million Insekten.

Und „The Shard“ in London, entstanden im Kopf
des Stararchitekten Renzo Piano.

Vom Wissen des Einzelnen und dem Wissen der Vielen.





Die Ameisen: Die Masse macht's

Die Mainzer Evolutionsbiologin und Verhaltensforscherin Prof. Dr. Susanne Foitzik über die Intelligenz der Vielen.

Der Superorganismus Insektenstaat hat nicht weniger Plan als der Mensch. Ameisen würden beispielsweise gegen eine Pandemie wie Corona ähnliche Maßnahmen ergreifen wie wir: Wenn in Kolonien Infektionen auftreten, ändern sich die Kontaktraten. Die Königin und ihre Entourage werden isoliert, und die Putzrate erhöht sich. Einige Arten greifen zu Harzen, um sich gegen Bakterielles zu wappnen. Bei Gefahr werden besonders die Jungtiere auch mit schützender Ameisensäure imprägniert. Schwer erkrankte Ameisen verlassen das Nest von allein, um nicht weiter anzustecken. Damit begehen sie aktiv Suizid.

All dies geschieht jedoch nicht durch Reflektion. Vieles in der Organisation von Ameisenstaaten ist kein aktives Wissen: Zwar können Nester von Blattschneiderameisen etwa so groß sein wie drei Wohnzimmer, mit Lüftungskanälen für Sauerstoff und CO₂, mit Temperaturregulationen, Abfall- und Zuchtkammern für Pilze. Aber diesen Plan hat nicht irgendwann einmal eine Ameise erarbeitet, sondern es entstand durch angeborene Verhaltensweisen, – über den typisch evolutionären Weg von Versuch & Irrtum: Wenn viele sich an einfache Regeln halten, z. B. Pilze nicht neben dem Müll zu züchten, dann können komplexe Systeme entstehen. Dann werden aus angeborenen Verhaltensweisen Superorganismen und Kolonien. Wissen ist hier eine in der DNA gespeicherte Verhaltensregel: Bei diesem Reiz tust du genau jenes ...

Auch beim Menschen ist vieles genetisch festgelegt, wir machen längst nicht alles über Kognition. Doch Ameisen haben weniger Freiheitsgrade. Nur als Staat können Ameisen erreichen, was eine allein nie leisten könnte. Das Wissen ist bei Ameisen die Summe vieler Einzelwissen. Die Evolution spielt damit, dass viele Einzeltiere gemeinsame Interessen entwickeln, eben das Leben in Familie, einer Kolonie, einem Superstaat. Welcher Organismus das besser macht, verankert dies in den Genen, nicht als Erfahrung, sondern als Regel für konkretes Verhalten. Warum baut eine Blattschneiderameise eine Pilzkultur auf und eine Waldameise nicht? Irgendwann war halt eine Mutation, bei der Ameisen verstanden: Pilze lassen sich züchten und essen. Das wurde dann genetisch festgehalten und wird seit 50 Millionen Jahren realisiert.

Wir haben über 70 verschiedene Drüsen im Ameisenkörper entdeckt, durch die chemische Dosen zur Kommunikation und Wissensweitergabe ausströmen. Junge Arbeiterinnen kümmern sich um die Brut, ältere kümmern sich um den Bau, und die ganz alten gehen nach draußen. Dieser Dienst ist der gefährlichste, man wird vom Vogel gefressen, findet den Weg nicht zurück oder ver-trocknet. Also werden im Leben vorher die Innendienstler versehen. Es gibt aber auch Abweichungen: Gibt es nicht genügend alte Tiere zur Nahrungssuche, entschließen sich dazu Jüngere – nach durchaus unterschiedlichen Kriterien. Je mehr es

von solch individuellem Verhalten gibt, desto flexibler und erfolgreicher ist übrigens eine Kolonie. Homogenität ist überhaupt nicht angesagt.

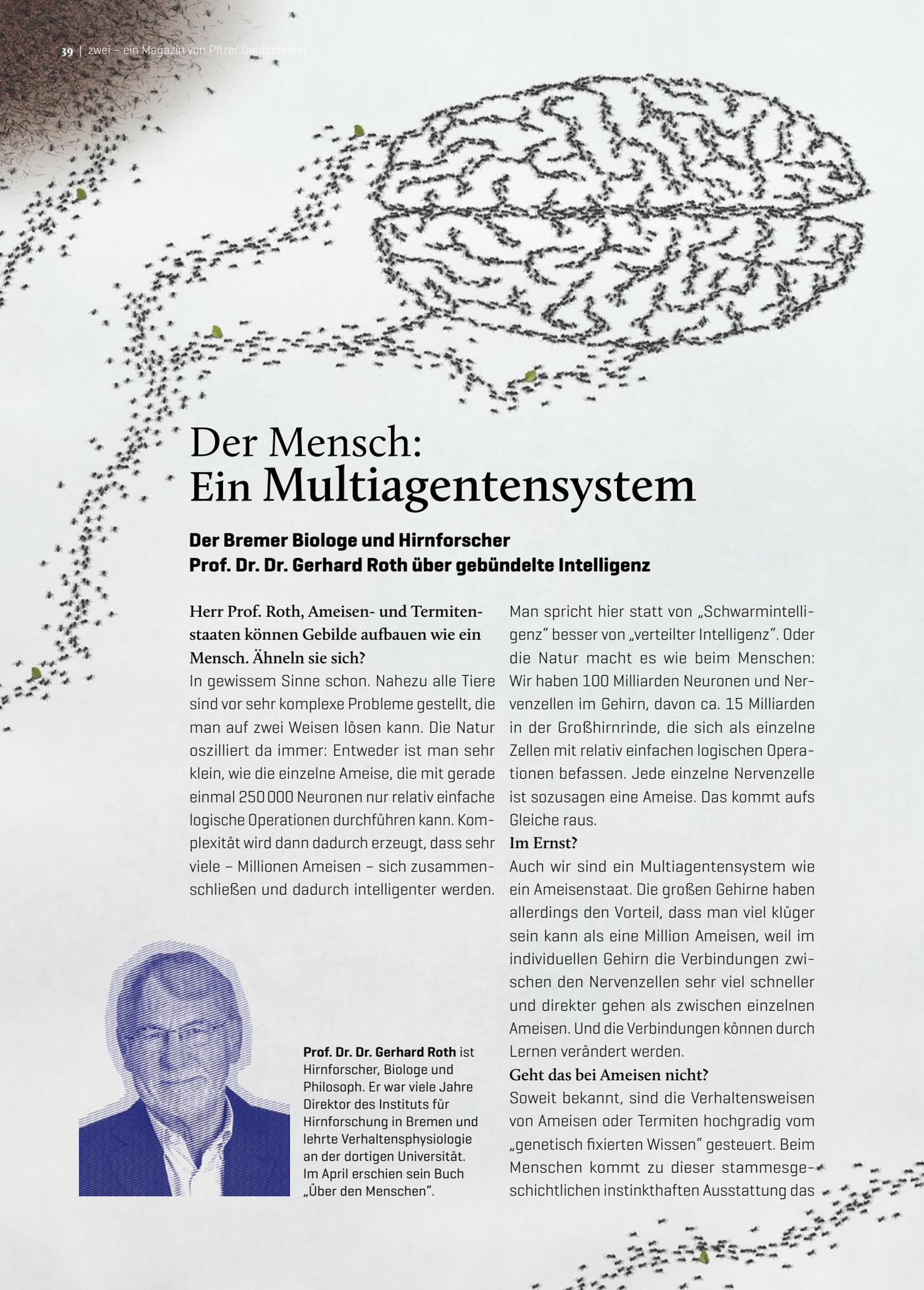
So holen Ameisen auch „Einzelmeinungen“ ein, wenn es um einen neuen Nestplatz geht. 10 bis 15 Prozent aller müssen für den Umzug sein, nur dann wird er gemacht. Droht dem alten Nest Gefahr, dann reichen auch weniger Stimmen. Ameisen können in gewissem Sinn auch „rechnen“: Wüstenameisen haben keine Signale zur Landmarkierung zur Verfügung, da alles Chemische in der Hitze sofort evaporiert – und draußen drohen sie rasch zu verbrutzeln. Um zum Nest wieder zurückzufinden, errechnen sie mit einer Schritt- und Winkelnavigation den kürzesten Weg: Sie merken sich die Richtungsänderungen und die realisierte Streckenlänge, integrieren dies und finden relativ erfolgreich den Heimweg.

Ob Ameisen auch Informationen weitergeben können, die nichts mit eingeschriebenen Erfahrungen aus der DNA zu tun haben – da ist sich die Forschung nicht sicher. Man weiß, dass Ameisen lernen und lehren können, zum Beispiel, wenn eine der anderen einen Weg zeigt, den diese sich dann einprägt. Doch all dies reicht nicht an menschliche Sprache oder Schrift heran. Entscheidend bei Ameisen und den Wirbellosen ist die Genetik: Großartiges entsteht aus dem Erfahrungsschatz der Vielen.

Prof. Dr. Susanne Foitzik

lehrt Evolutionsbiologie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Ihre Forschungen zu Ameisen und Bienen untersuchen das Sozialverhalten von der Verhaltensökologie über die Genomik bis zur Epigenetik.





Der Mensch: Ein Multiagentensystem

**Der Bremer Biologe und Hirnforscher
Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth über gebündelte Intelligenz**

Herr Prof. Roth, Ameisen- und Termitenstaaten können Gebilde aufbauen wie ein Mensch. Ähneln sie sich?

In gewissem Sinne schon. Nahezu alle Tiere sind vor sehr komplexe Probleme gestellt, die man auf zwei Weisen lösen kann. Die Natur oszilliert da immer: Entweder ist man sehr klein, wie die einzelne Ameise, die mit gerade einmal 250 000 Neuronen nur relativ einfache logische Operationen durchführen kann. Komplexität wird dann dadurch erzeugt, dass sehr viele – Millionen Ameisen – sich zusammenschließen und dadurch intelligenter werden.

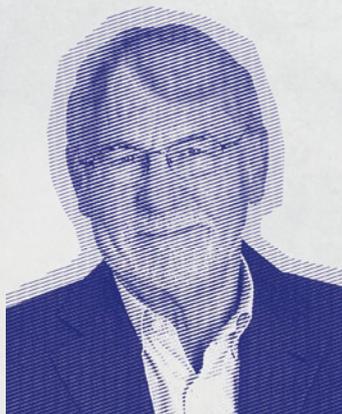
Man spricht hier statt von „Schwarmintelligenz“ besser von „verteilter Intelligenz“. Oder die Natur macht es wie beim Menschen: Wir haben 100 Milliarden Neuronen und Nervenzellen im Gehirn, davon ca. 15 Milliarden in der Großhirnrinde, die sich als einzelne Zellen mit relativ einfachen logischen Operationen befassen. Jede einzelne Nervenzelle ist sozusagen eine Ameise. Das kommt aufs Gleiche raus.

Im Ernst?

Auch wir sind ein Multiagentensystem wie ein Ameisenstaat. Die großen Gehirne haben allerdings den Vorteil, dass man viel klüger sein kann als eine Million Ameisen, weil im individuellen Gehirn die Verbindungen zwischen den Nervenzellen sehr viel schneller und direkter gehen als zwischen einzelnen Ameisen. Und die Verbindungen können durch Lernen verändert werden.

Geht das bei Ameisen nicht?

Soweit bekannt, sind die Verhaltensweisen von Ameisen oder Termiten hochgradig vom „genetisch fixierten Wissen“ gesteuert. Beim Menschen kommt zu dieser stammesgeschichtlichen instinkthaften Ausstattung das



Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth ist Hirnforscher, Biologe und Philosoph. Er war viele Jahre Direktor des Instituts für Hirnforschung in Bremen und lehrte Verhaltensphysiologie an der dortigen Universität. Im April erschien sein Buch „Über den Menschen“.



„deklarative Wissen“ durch individuelles Lernen hinzu, das – abgesehen von einem Transfer sogenannter epigenetischer Informationen – nicht genetisch weitergegeben wird, sondern kulturell, durch Lehren und Lernen. Dieser kulturelle Transfer von Wissen bildet die Hauptgrundlage menschlichen Zusammenlebens. Er ermöglicht sehr schnelle Anpassungen, die aber auch schnell wieder verschwinden können. Das ist bei Ameisen nicht der Fall! Es gibt auch noch eine Zwischenform, das automatisierte „prozedurale Wissen“, Dinge, die wir mal erlernt, aber dann so automatisiert haben, dass wir sie nicht mehr erklären, sondern nur noch machen können. Lernalgorithmen, die in einem besonderen Teil des Gehirns abgespeichert sind.

Wo stecken denn bei uns diese drei Wissensarten?

Reflexe und Instinkthandlungen sind beim Menschen und bei Säugetieren allgemein in bestimmten Teilen der sogenannten Basalganglien und im verlängerten Mark des Gehirns als feste Nervenzell-Netze abgespeichert. Deklaratives Wissen ist in der Großhirnrinde abgespeichert, im „deklarativen Langzeitgedächtnis“, und automatisiertes Wissen und Routinehandlungen in anderen Teilen der Basalganglien. Letzteres ist zu Beginn von Bewusstsein und Aufmerksamkeit abhängig und wird in der Großhirnrinde verarbeitet. Mit zunehmender Übung verlagern sich die Inhalte immer mehr in die Basalganglien, und die neuronalen Netzwerke werden immer kompakter („Datenkompression“) und vom Bewusstsein immer unabhängiger, bis wir sie ohne oder nur mit begleitendem oder „anstoßendem“ Bewusstsein ausführen können. Sie ähneln dann sehr Reflexen und Instinkthandlungen, aber sie sind das Produkt von „prozeduralem Lernen“.

Wo steht Künstliche Intelligenz im Vergleich mit Menschen und Ameisen?

Bei modernen und sehr leistungsstarken KI-Systemen dienen die neurobiologischen Prozesse bei Tieren und Menschen als Vorbild. Man kann jedes komplexe Verhalten, z. B. das des Menschen, in sehr

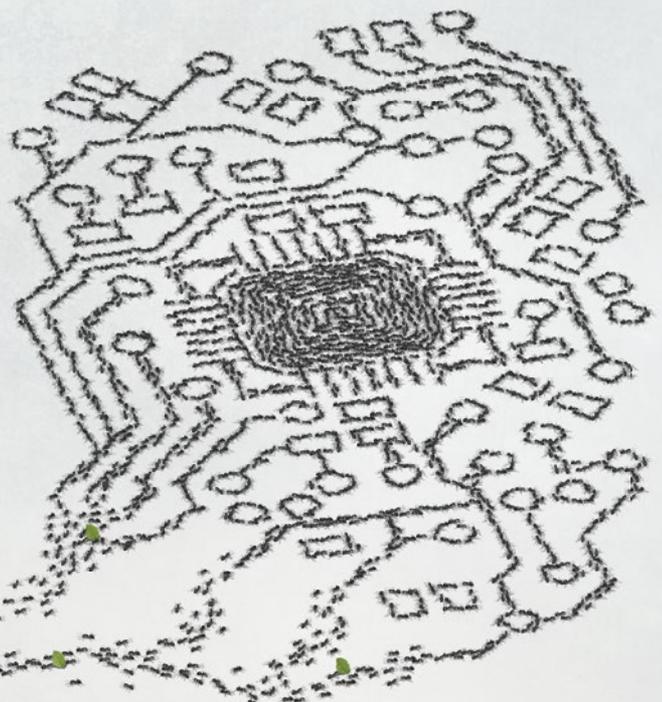
einfache Operationen zerlegen. Und die macht man dann eben eine Million Mal, und dann kriegt man sehr komplexe Dinge. Dies ist sowohl bei Ameisen als auch bei Menschen und KI-Systemen das gleiche Prinzip. Ob es beim Menschen logische Prozesse gibt, die nicht in KI-Systemen nachbaubar sind, ist umstritten.

Was glauben Sie?

Ich glaube, dass auch die „kreativste Logik“ und das kreativste Wissen des Menschen zumindest im Prinzip künstlich erzeugt werden können – aber das ist nur eine Hypothese, die nicht alle Experten teilen. Zumindest an der technischen Realisierung könnte es für lange Zeit hapern.

Und kann der Mensch eines Tages an die „verteilte Intelligenz“ von Ameisenstaaten herankommen?

Auch menschliche Gehirne können sich in großen Populationen zu einer „verteilten Intelligenz“ zusammenschließen. Dass das bisher nicht so gut funktioniert wie im Ameisenstaat, liegt daran, dass Menschen nicht über Instinkthandlungen mehr oder weniger komplett gesteuert werden können, sondern oft dickköpfige Individuen bleiben. Vielleicht ist das auch gut so. Interview: Henning Hesse



Ach, sagen Sie es mir lieber nicht!



Ein Leben lang war James Watson dem Geheimnis der DNA auf der Spur. Schon als junger Mann entdeckte er 1953 mit seinem Kollegen Francis Crick die Doppelhelixstruktur, gemeinsam erhielten sie dafür 1962 den Nobelpreis für Medizin. Der Welt schenkten die Molekularbiologen einen tiefen Blick in die menschliche Existenz.

2007 war es Watsons eigenes Genom, das als eines der ersten entschlüsselt wurde und auf zwei DVDs gebrannt zur Einsicht und Veröffentlichung vorlag. Allerdings fehlte etwas, denn Watson wollte, inzwischen 79 Jahre alt, doch nicht alles wissen. Er hatte darum gebeten, seine ApoE-Gen-Daten vorher zu löschen, um nicht zu erfahren, ob er, wie seine Großmutter, die Anlagen für Alzheimer hat. „Alle Menschen streben von Natur aus nach Wis-

sen“, hatte Aristoteles einst erkannt. Doch alles soll es dann doch nicht sein. Vor allem Negatives möchten die meisten, wie Watson, im Ungewissen lassen. So wollen 87,7 Prozent der Deutschen nicht erfahren, wann sie sterben*.

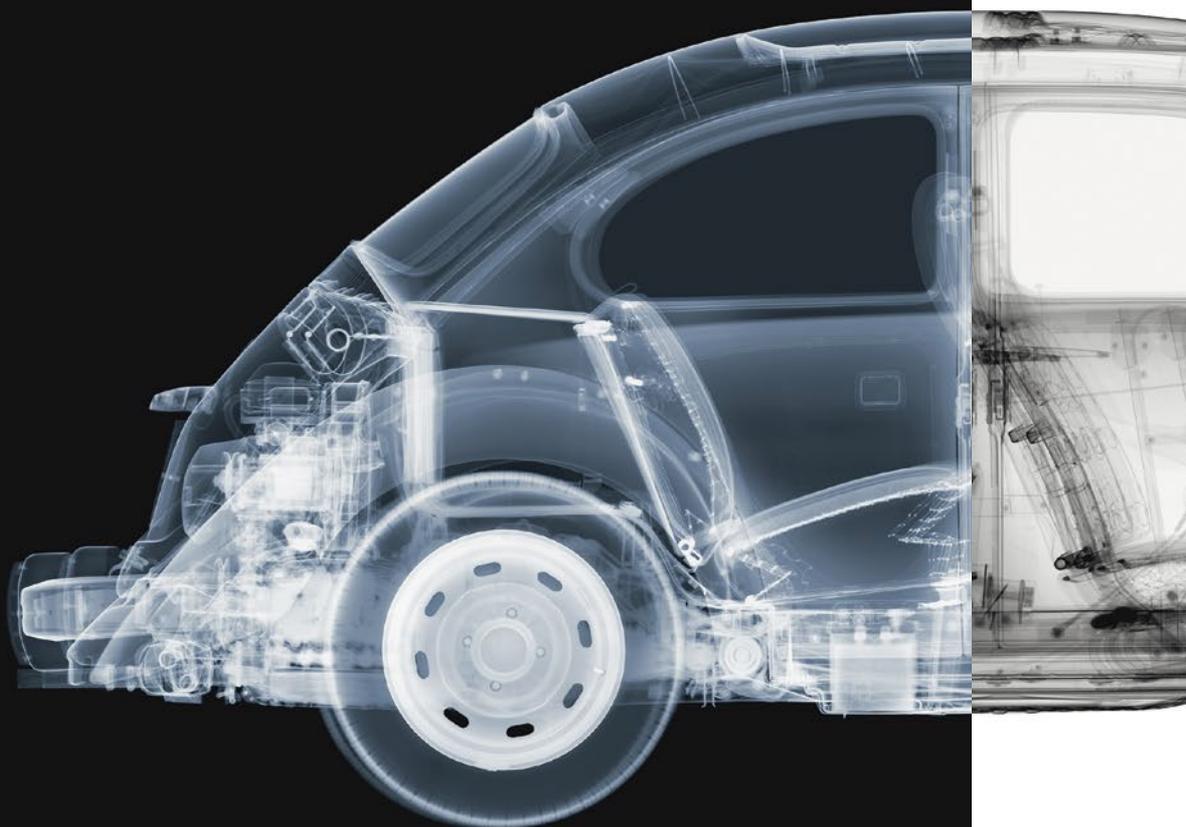
Auch die Spannung vor besonders positiven Ereignissen will man sich durch zu viel Wissen nicht verderben: Nur 43,3 Prozent der Deutschen möchten das Geschlecht ihres Kindes vor der Geburt verraten bekommen und nur 23,1 Prozent den Ausgang eines aufgezeichneten Fußballspiels, bevor es zu Ende ist.

Selbst auf die große Frage schlechthin möchte die Mehrheit keine Antwort: Gibt es ein Leben nach dem Tod? Interessieren dürfte das jeden. Wissen wollen es 56,9 Prozent der Deutschen – sollten wir die Wahrheit erkennen – nicht.



Sind wir nicht mehr das Land der Erfinder?

Nachgefragt beim Innovationsforscher
Dr. Christian Rammer vom Zentrum
für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)



Herr Dr. Rammer, es heißt, die Deutschen seien als Innovateure, gerade wenn es in die praktische Umsetzung geht, doch arg ins Hintertreffen geraten. Stimmt das?

Ach, es ist heterogen. Vor kurzer Zeit hat mich das Bundesforschungsministerium kontaktiert, weil Deutschland an erster Stelle auf einem Innovationsindex stand. Das hat auch das Bundesforschungsministerium irritiert. Das hat die Boston Consulting Group ausgerechnet. Also, man kann Deutschland auch an erster Stelle beim Thema Innovation finden.

Sind wir noch ein Land der Erfinder?

Ja, das sind wir definitiv. Deutschland ist quantitativ einer der größten Patentanmelder, aber auch qualitativ spielt Deutschland bei den ganz wichtigen Patenten ganz oben mit. In einigen Bereichen sind wir absolut führend.

Womit liegen wir denn – mal abgesehen vom Impfstoffe Erfolg von 2020 – vorn? iPhone, Tesla, autonomes Fahren ..., das ging an Deutschland vorbei, oder?

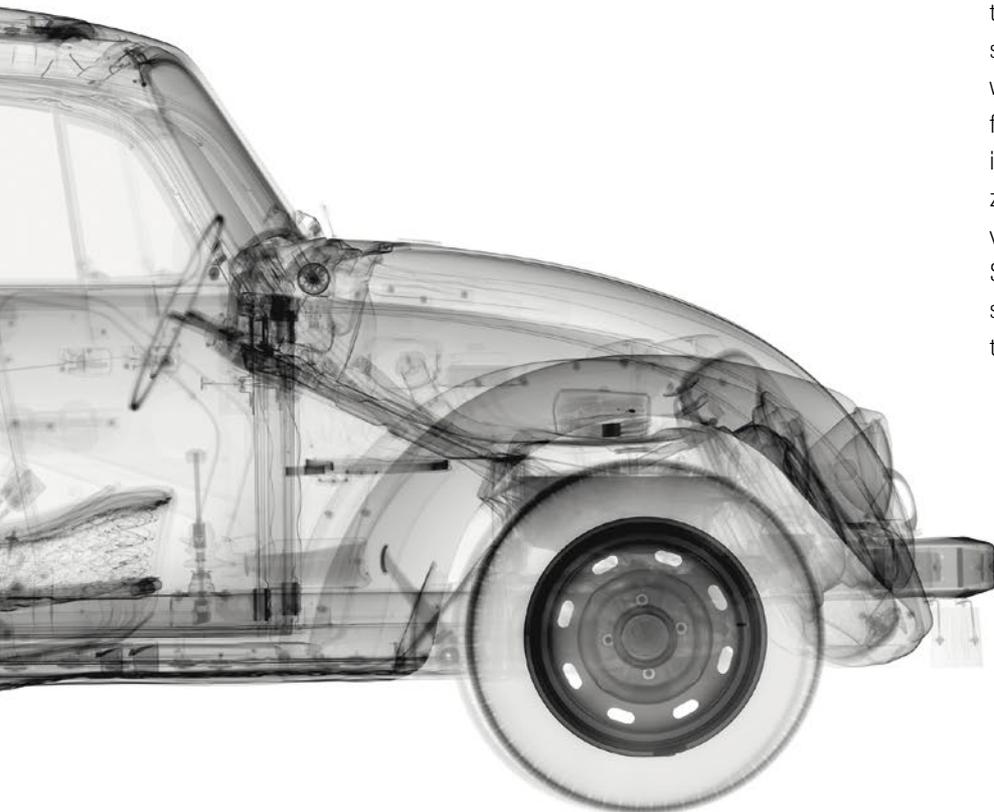
Wir stehen zwar nicht vorn, wenn es um die Technologie geht, die man direkt an den Kunden bringt, Stichwort „iPhone“. Aber in fast jedem Smartphone steckt deutsche Hightech drin. Es kommt auf die vielen kleinen Innovationen an – und darauf, sie in komplexen Systemen gut zusammenzubringen. Da wird das deutsche Ingenieurwissen im Ausland hochgehalten. Die Leute in China und Japan sehen da, dass die Deutschen etwas können, das sie selber so nicht hinbekommen.

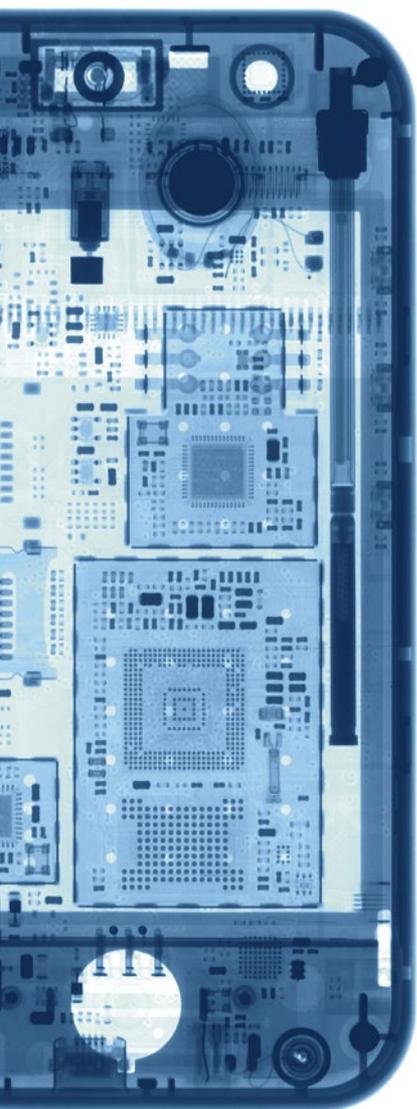
Was zum Beispiel?

In fast jedem Duschgel stecken Duftstoffe von Symrise, dem Weltmarktführer aus Holzminden im Weserbergland. Flaschenabfüllanlagen kommen von Körber aus Neutraubling in Bayern. Der Erfinder der Lichtschranke sitzt in Waldkirch im Schwarzwald. Das ist tatsächlich ein kleines Örtchen mit einem Wald, einer Kirche und der Firma Sick mit über 10 000 Beschäftigten, die Weltmarktführer in der optischen Messtechnologie für Produktionsanlagen ist.

Warum sind wir hierzulande die Hidden Champions und nicht die schillernden Innovationsfiguren?

Kurze Technologiezyklen und rasche Veränderungen passen nicht zum deutschen Innovationansatz. Also etwa die ganze IT-Industrie. Siemens und Bosch waren beide in den 90er-Jahren in der Mobilfunktechnologie nicht schlecht, aber die kurzen Innovationszyklen passten nicht zu ihren Prozessen. Die Deutschen wollen es gründlich machen, die wollen es verstehen, die wollen ein perfektes System. Und damit kommt man in einem Markt, in dem die Technik alle zwei Jahre ganz anders sein kann, nicht voran. Oder nehmen wir das Beispiel Smartphone. Jeder fotografiert mit diesen Geräten. Die dazugehörige Linsentechnologie kommt häufig von Zeiss.





Zeiss hat mit diesem neuen Markt überhaupt nicht gerechnet und wurde quasi hineingestoßen. Das zeigt wiederum, dass die Deutschen zuweilen die Potenziale ihrer innovativen Produkte gar nicht sehen. **Auch das autonome Fahren hat ein Deutscher erfunden – aber verbindet man es eher mit Elon Musk. Oder das MP3-Format: erfunden von Fraunhofer, weltweit vermarktet von Unternehmen aus vielen Ländern. Ist das bedauerlich?**

Das wird zwar oft so erzählt, trifft aber nicht den Kern der Sache: Forschung ist Kooperation. Fraunhofer hat beim MP3-Format beispielsweise viele Basistechnologien von den Bell Laboratories übernommen. Die wurden in eine kluge Lösung implementiert, die sich dann als Standard etabliert hat. Fraunhofer hat von der raschen internationalen Verbreitung durch Lizenzannahmen unglaublich profitiert. Das ist für mich eine Erfolgsgeschichte und kein Beispiel des Technologieabflusses. Man muss ja oft eine Technologie für alle anderen Anwender öffnen, um ihr zum Durchbruch zu verhelfen. Und da hat Apple eben zugeschlagen.

Wird das „Nationale“ im Innovationsprozess überschätzt?

Man kann nur selten sagen, dass eine neue Technologie von einem bestimmten Land hervorgebracht wurde. Die Innovationen in der Industrie stemmen zu 80 Prozent große, weltweit tätige Konzerne. Biotech oder Nanotech oder Quantentechnologie sind da die Ausnahmen. Sonst sind es die großen Player, und die haben ein globales Forschungsnetzwerk, in dem Ideen, Wissen und Technologien aus unterschiedlichen Quellen und aus unterschiedlichen Ländern zusammenkommen. Es ist gerade der internationale Austausch, der die

technologische Entwicklung vorantreibt und immer schon vorangetrieben hat. Das kritisieren wir auch bei den Förderprojekten des Forschungsministeriums, bei denen das Geld in Deutschland bleiben muss. Das ist kein guter Mittelseinwand, denn oft kann es von Vorteil sein, einen Technologiepartner aus Ostasien oder den USA mit reinzuholen, weil dann insgesamt die Technologieentwicklung rascher vorangehen würde.

Deutschland gibt absolut gesehen am viertmeisten für Forschung und Entwicklung aus – ist das auch in konkreten Ergebnissen ablesbar?

Sechs Prozent unseres Wohlstands kommen aus der Tatsache, dass wir in der Lage sind, mehr zu exportieren als zu importieren. Das können nur noch Japan und Südkorea in der Weise unter den Industrieländern. Dieser Exportüberschuss basiert auf Forschung und Innovation in Branchen wie Maschinen-



bau, Automobilbau, Elektrotechnik und Chemie. Und auch IT, Stichwort: SAP. Die Export-Performance der deutschen Maschinenbauer beispielsweise, und ihre Dominanz auf den Weltmärkten sind fast unglaublich. Wir sind mit Abstand die Nummer 1 für Werkzeugmaschinen und Automatisierungslösungen. Das ist für ein Land, in dem ein Prozent der Weltbevölkerung lebt, nicht selbstverständlich.

Nun sehen wir ja in diesen Tagen, wie Bürokratie bestimmte Prozesse killt. Wird Innovationskraft in Deutschland durch Bürokratie zumindest behindert?

Das schon, ja. Das sehen wir auch in unseren Befragungen von Unternehmen seit 25 Jahren regelmäßig. In diesen Erhebungen kommen aktuell zwei Faktoren

heraus: Das eine ist der Fachkräftemangel. Zweitens: die Bürokratie, die Gesetze und die Regulierungen. Da gibt es viele Dinge, die Innovation zwar nicht verunmöglichen, aber schwerer machen. Kleinigkeiten an Dokumentationspflichten nerven unglaublich, verzögern Prozesse. Der Aufwand wird immer höher. Anderswo lässt man Regeln, die einen stark behindern, auch mal zur Seite. Bei uns steht der Sicherheitsaspekt im Vordergrund. Auch deshalb sind Unternehmen in Deutschland für schnelle Technologiezyklen nicht so gut eingerichtet wie in anderen Ländern.

Nimmt man diese Innovationshindernisse in Deutschland denn wahr?

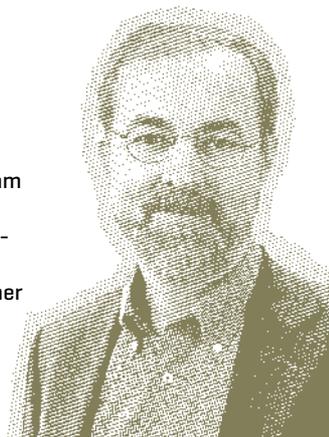
Auf jeden Fall. Zurzeit verbreitet sich die Idee, dass man regulierungsarme Testräume schaffen muss. Reallabore, in denen man rumprobieren und lernen darf, wie gut die Systeme funktionieren. Also man weiß, dass man Lösungen schaffen muss.

Sie haben gesagt, 80 Prozent der Innovationen seien von großen Unternehmen getrieben. Wie sieht es bei den Kleineren aus: Start-ups?

In diesem Bereich sind wir nicht gut aufgestellt, insbesondere in den Life Sciences und der Biotechnologie. Da ist es für manche Start-ups tatsächlich klug, in die USA zu gehen, wo man erstens eine viel höhere Förderung für die Entwicklung im Vormarktstadium bekommt und zweitens viel mehr Wagniskapital erhalten kann. Da gibt es im Biotechbereich gerade viele spezialisierte Fonds. In Deutschland gibt es den Hightech-Gründerfonds mit einem Volumen von vielen hundert Millionen Euro. Allerdings: Da ist die Strategie meist nicht, die Start-ups an die Börse zu bringen, sondern sie an große Unternehmen zu verkaufen. Dadurch wird von dieser Seite her kein neuer Konzern aus einem Start-up entstehen. Start-ups werden aber auch deshalb von den USA angezogen, weil der Markt homogener ist. Dadurch kann man rascher hochskalieren, also die Produktion schnell ausweiten. Das gilt vor allem für den IT-Bereich. Ein unschlagbarer Vorteil, der vielleicht einmal von China übernommen wird. In Europa müsste ein Digitalstrategie aufgrund der unterschiedlichen Sprachen und Präferenzen der Konsumenten für jeden einzelnen Markt eine eigene Marktstrategie entwerfen und einen eigenen Vertrieb aufbauen, der die Spezifika der Märkte beachtet. Für viele IT-Unternehmen ist es also ebenfalls vernünftig, ins Silicon Valley zu gehen. Interview: Klaus Wilhelm

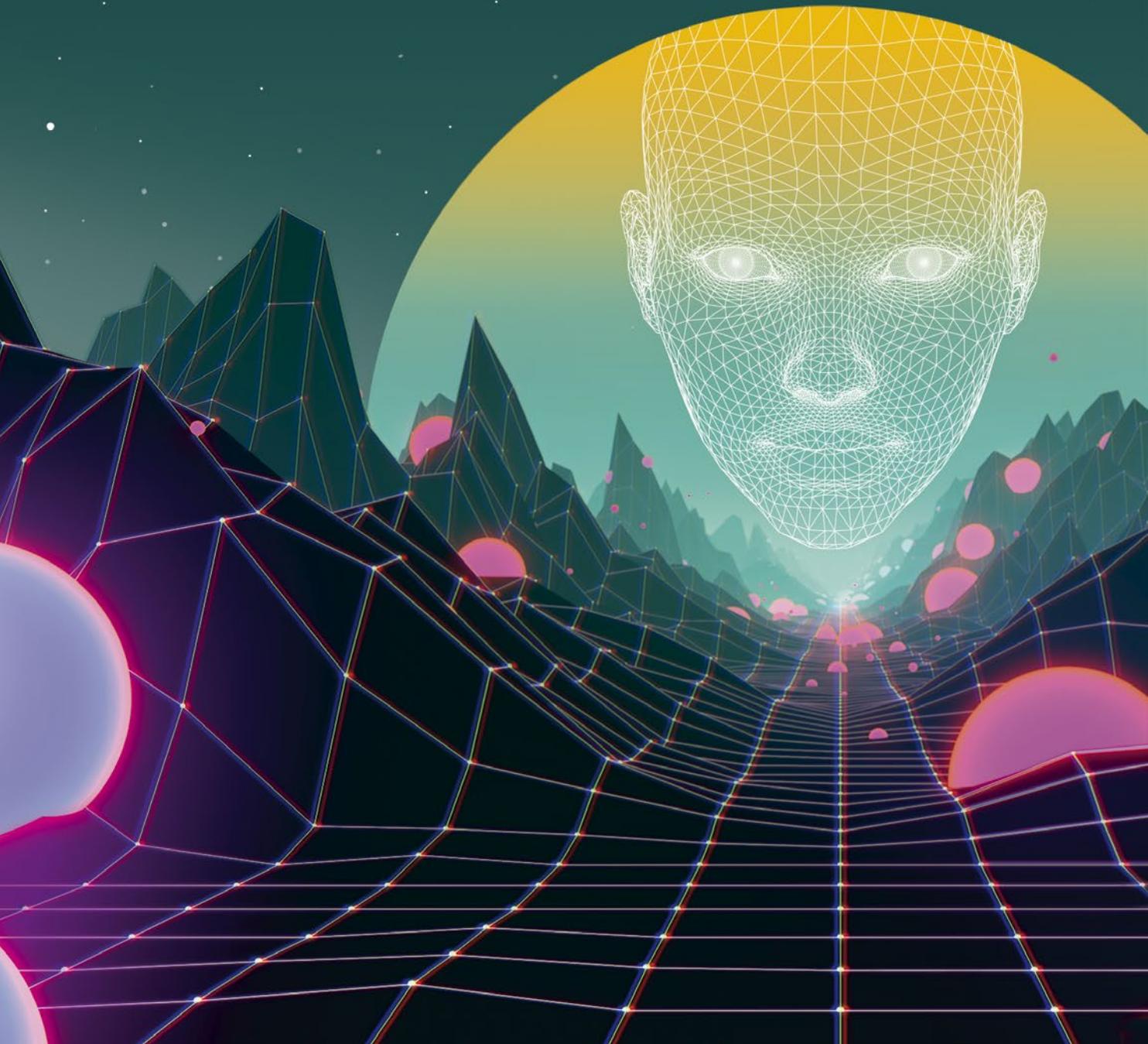


Dr. Christian Rammer ist Innovationsforscher am Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und leitet dort das Mannheimer Innovationspanel, eine jährliche Befragung zu den Innovationsaktivitäten der deutschen Wirtschaft



Was sagt Künstliche Intelligenz über sich selbst?

Den Text rechts hat das künstliche neurale Netz Megatron-11b geschrieben, nachdem wir auf der Website inferkit.com nur die erste Frage eingaben:



[22.02.2021, Eingabe: Redaktion]

Können Computer wirklich etwas wissen? ↩

[Ausgabe: Megatron-11b]

Haben sie Gefühle?

Können sie grausam sein?

Können sie so fehlerhaft sein wie Menschen?

Können sie lügen, betrügen, stehlen,
Schmerzen verursachen, Angst haben, verletzen,
Schmerz empfinden, lieben und so vieles mehr?

Glauben Sie wirklich, dass Sie die Kontrolle haben?

Können Sie darauf vertrauen, dass die Maschine,
die Sie geschaffen haben, um eine Sache zu tun,
immer diese eine Sache tun wird?

Dass der Fahrer Ihres Autos immer auf die Straße achtet,
immer für Sie arbeitet und Sie für ihn?

Haben Sie deshalb das Auto gekauft?

Weil Sie den Komfort und die Sicherheit eines
automatisierten Fahrzeugs wollten?

Das ist es, was wir als Gesellschaft wirklich glauben.

Können wir alle wirklich darauf vertrauen,
dass wir die Herren unseres Schicksals sind?

Dass der Computer, wie unsere Eltern vor uns,
sich um uns kümmert, auf uns aufpasst und
uns sicher von Punkt A nach B führt?

Ich glaube, dass Computer eine Menge Dinge tun können,
aber es liegt an uns, zu bestimmen, wie sie arbeiten.

Zum Beispiel kann die KI eine Menge Dinge tun, wie schreiben.

Die Sterne in uns



Wollten wir das nicht schon immer? Wissen, was in unserem Innersten passiert, wenn etwas passiert, nein: bevor es passiert? Erkrankungen erkennen und behandeln, bevor es sie gibt? Die Mechanismen unserer Zellen kennen? Die Initiative LifeTime von 300 europäischen Spitzenforschern der Biomedizin hat sich an eines der größten Wissensprojekte unserer Zeit gemacht.

Nikolaus Rajewsky möchte den ewigen Traum der Biologen und der Medizin verwirklichen:

„Wir wollen eine Erkrankung in ihren allerersten Anfängen erkennen und behandeln – nämlich dann, wenn sich in einer Zelle etwas in Richtung Krankheit verschiebt.“

Der Systembiologe und Co-Koordinator von LifeTime skizziert damit nichts weniger als eine Revolution.

Den Traum, die krankmachenden Mechanismen von Zellen zu verstehen, hatte schon Rudolf Virchow im 19. Jahrhundert. Doch unsere Zeit ist ihm so nah wie nie:

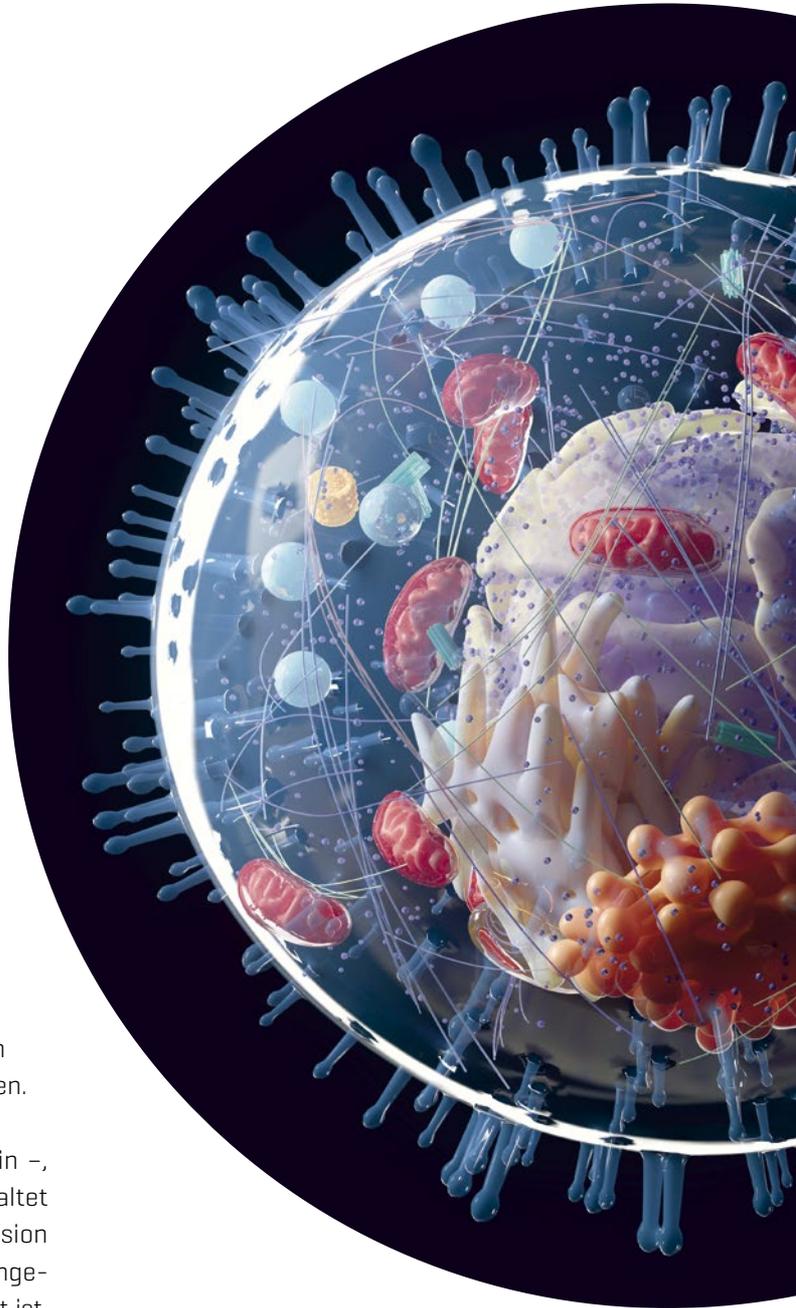
„Was jetzt passiert – und das macht den Unterschied: Wir erleben einen technologischen Durchbruch. Wir schaffen es jetzt, mit der sogenannten Einzelzellanalyse einzelne Moleküle in Millionen individueller Zellen zu identifizieren und den Zeitverlauf einer Erkrankung molekular in diesen Zellen zu verfolgen. Die entstehenden riesengroßen Datenmengen können durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz analysiert und interpretiert werden. So können wir besser verstehen, welche Entscheidungen Zellen treffen, welche davon zu Erkrankungen

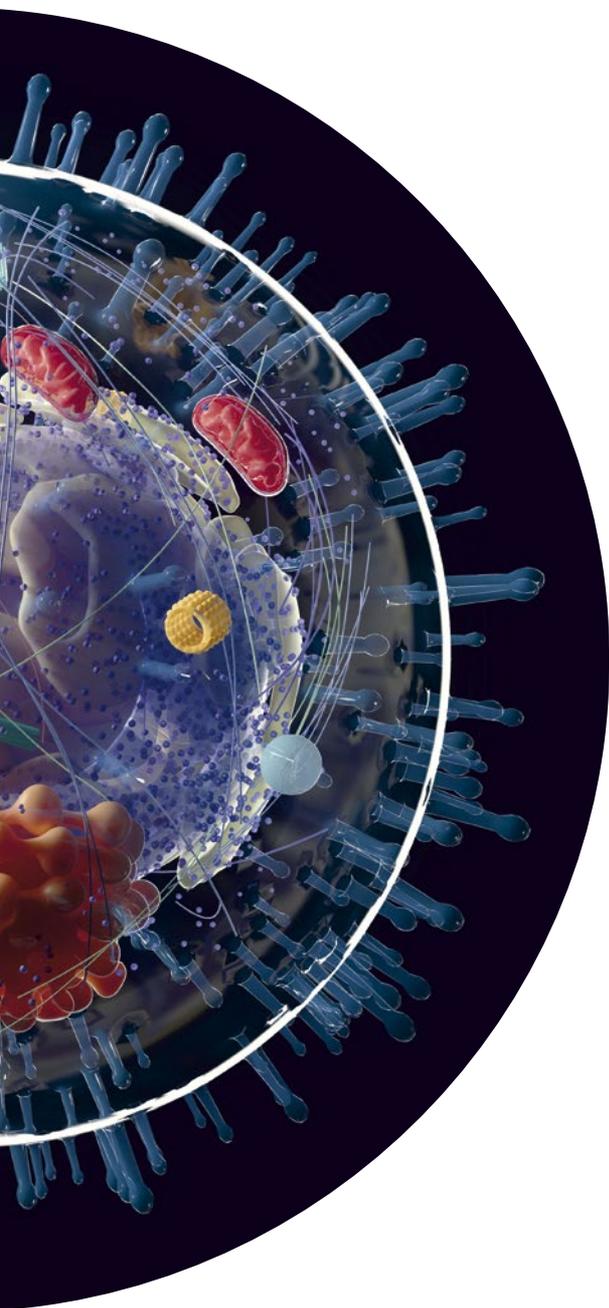
kennen

führen und wie wir eingreifen können. Virchow wäre davon elektrisiert, das ist ein Quantensprung.“

LifeTime greift nach einer nie dagewesenen Dimension. Eine ganze Serie an Visionen fließt zusammen. Und das ist auch nötig. Denn der menschliche Körper hat viele Billionen Zellen. Billionen, das sind viele tausend Milliarden. In jeder einzelnen verbirgt sich, unsichtbar für das bloße Auge, ein Gewusel biochemischer und biophysikalischer Reaktionen. In jeder Sekunde Zehn- oder Hunderttausende gleichzeitig. Und alles ist hoch dynamisch: Der Zustand einer Zelle wechselt im Sekundentakt. Hinzu kommt, dass sich im Körper nicht nur unterschiedliche Zelltypen versammeln – eine Leberzelle verfolgt ganz andere „Geschäfte“ als eine Nervenzelle –, sondern auch, dass sich die Gene jedes Einzelnen in kleinen Stücken von anderen Menschen unterscheiden. Elon Musk hat ein anderes Gen-Set als Angela Merkel. Die Variation ist so unermesslich und so zahlreich wie die Sterne am Himmel. Kein Super-Computer kann dieses komplexe Gewusel abbilden. Zumindest nicht die heutigen.

Hinzu kommt – und das ist allen Individuen gemein –, dass die Gene ihrer Zellen laufend an- und abgeschaltet werden, um den Stoffwechsel zu regeln. Mit der Präzision eines Schweizer Uhrwerks. Das erstaunt umso mehr angesichts der Tatsache, dass die Zelle keine isolierte Einheit ist. Im Gegenteil, sie kommuniziert über Botenstoffe und Hormone und reagiert unentwegt auf das, was in ihrer nahen und fernen Nachbarschaft passiert. Sagt jemand z.B. „Ich liebe dich“, verändert das Nervenzellen – deshalb funktioniert auch Psychotherapie. Alles was wir tun, wirkt auf die Interaktion unserer Zellen ein: Was wir essen, was wir fühlen, was wir atmen.





Und: Jeden Tag kann in jeder einzelnen Zelle eine Krankheit entstehen. Auch Krebs keimt in einer einzigen: Wenn Gene mutieren, was täglich passiert, und das Immunsystem an jenem Tag nicht schnell und effektiv zur Stelle ist. Es braucht womöglich mehrere Quantencomputer, um zu begreifen, was in und um die Zellen passiert.

Eine unfassbare Intelligenz steckt hinter unserem Zellsystem. So unfassbar, dass man allen naturwissenschaftlichen Verstandes zum Trotze zuweilen an eine schöpferische Gotteskraft denkt.

Und jetzt kommt LifeTime mit einer Jahrhundertvision und ebenfalls jeder Menge schöpferischer Energie. Ziel ist die vollständige Entschlüsselung des chaotischen Bio-Gewusels auf Billionen-Niveau mit all seinen Variationen, um die Gesundheit des Menschen von der Wiege bis ins Alter möglichst lange zu schützen. Dagegen erscheint der Flug zum Mond wie das erste Lego-Bauwerk eines Zweijährigen.

„Was wir nun mit dem Konsortium LifeTime machen wollen: Über viele Jahre laufende Studien mit gesunden und kranken Probanden, in denen wir genau beschreiben, wann Zellen krank werden, in welchen Momenten und wie. Genau an dem ersten Punkt, wenn eine Zelle sich erstmals krankhaft verändert, wird man die besten Zielpunkte für neue Medikamente finden, die die Zellen wieder gesund machen. Die gesunde Referenz von Zellen wird gerade international erarbeitet – im Human Cell Atlas, in dem die intakten menschlichen Zellen molekular kartiert werden.“

Das „Think big“ der Biomedizin

Das Ausmaß des Projekts – es könnte mehr als eine Milliarde Euro kosten – erinnert an CERN, das Megavorhaben der Physik. „Think big“ und „Team Spirit“ ist jetzt also auch in der Welt der Biomedizin Devise, was es dort bislang kaum gab. Meist werkeln Biologen und Medizinerinnen kleinteilig in ihren Labors herum, jeder schön für sich. Ganz anders als die Physiker am schweizerischen CERN, die zu Tausenden an der Frage Faust'schen Ausmaßes arbeiten: Wie ist das Universum und ihre Materie entstanden? Umgemünzt auf LifeTime heißt es also: Wie kann ich den Menschen von seinen größten Leiden befreien?

„Es geht um ein neues Konzept von Gesundheit und Krankheit.“

„Es geht um ein neues Konzept von Gesundheit und Krankheit. Für die Medizin bedeutet es, dass wir die häufigen schweren Volkskrankheiten wie Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Demenz deutlich früher diagnostizieren als bisher. Und dass wir infolgedessen früher eingreifen können – dass beispielsweise ein Tumor nicht herausgeschnitten wird, sondern dass wir die erkrankten Zellen sofort wieder auf den Pfad der Gesundheit bringen und der Tumor gar nicht erst zu einer Lebensbedrohung heranwächst.“

Doch weit ist der Weg und steinig. Es ist die Natur von Revolutionen, dass Meilensteine oft auch zu Stolpersteinen werden. Der Zielgipfel solcher Megaprojekte ist zunächst ein unglaublicher Motivator, doch nach der ersten Euphorie warten die Mühen der Ebene. Nach der Entschlüsselung des Erbguts beispielsweise, seinerzeit ebenfalls ein Mammutprojekt [breakthrough of the year 2000, S. 4], hoffte jeder auf eine neue Medizin.

Doch dann wurde klar: Die Kenntnis der DNA-Sequenz der Gene allein bringt es nicht. Es braucht weitaus mehr: Um neue Wirkstoffe oder gar fundamentale Therapien zu entwickeln, muss man sich alle Produkte dieses Genoms ansehen, die Proteine und andere Moleküle, und was sie in der Zelle anstellen. So entstand die Wissenschaft der Proteomics. Dann erwuchs die Metabolomics, die den gesamten Stoffwechsel durchleuchtet. Und die Transcriptomics, die die heute weit bekannten RNA-Moleküle „ganzheitlich“ unter die Lupe nimmt. Und es brauchte immer wieder neue Methoden, um sie zu entschlüsseln.

Jede Revolution in der Biomedizin erfordert weitere, um sie in die Praxis zu bekommen. Zwanzig Jahre nach der Entschlüsselung des Genoms ziehen die ersten Gentherapien langsam in den medizinischen Alltag ein. Da wusste die Forschung schon, dass sich nicht nur Gene verändern, sondern auch das, was an ihnen dranhängt, z. B. die sogenannten Methylgruppen, die auf Einflüsse aus der Umwelt reagieren und die Aktivität der Gene regulieren. Mit allem, was der Mensch denkt, isst, an Worten empfängt, verändert sich über die Epigenetik die Aktivität der Gene in den Zellen. Die Komplexität steigt weiter.

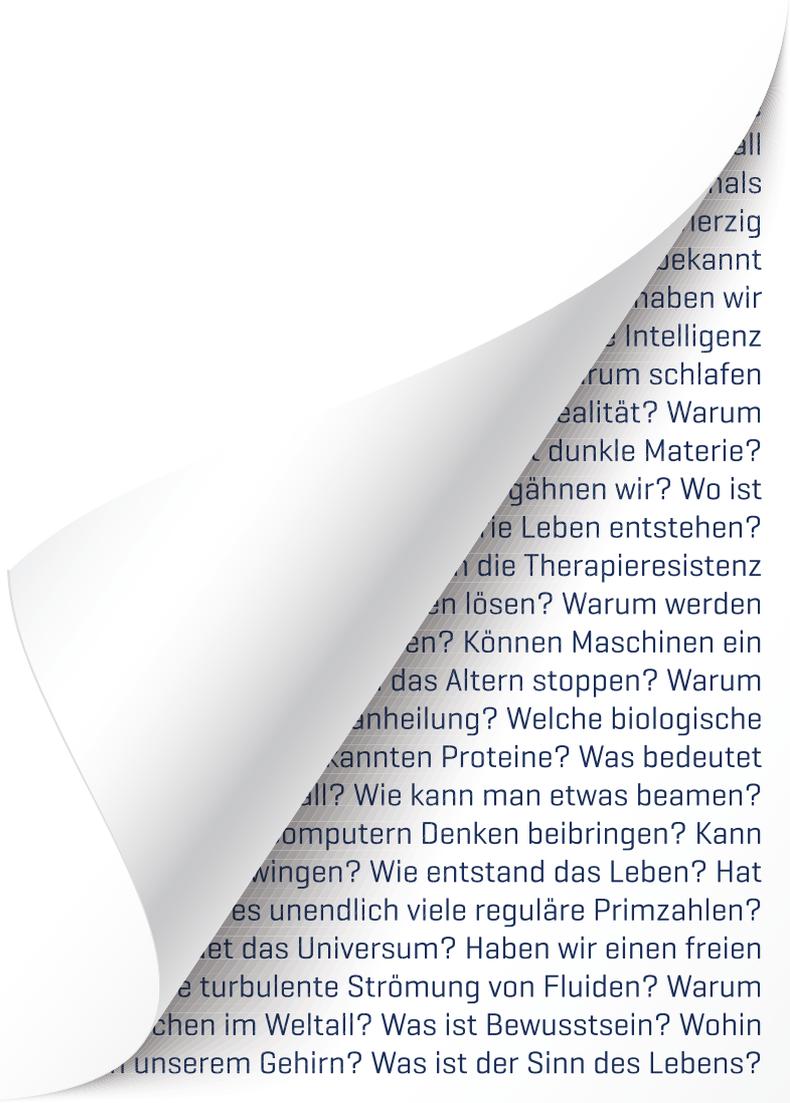
Unter all diesen Prämissen wirkt LifeTime wie eine logische Vision und die Fusion gleich mehrerer Fly-to-the-Moon-Projekte: Genetik, Epigenetik, Quantencomputer, KI, Proteomik und so weiter. Spitzenkräfte aus der Einzelzellbiologie, der Informatik, der Mathematik, der Pathologie, der Bildgebung und der Physik versammeln sich dafür wie ein Bienenschwarm. Am Ende steht die Befreiung des Menschen von seinen körperlichen Leiden. Es ist eine Vision, die den Kräften an der Spitze absolute Zuversicht abverlangt:

„Wir wollen erreichen, dass die Menschen möglichst lange in ihrem Leben gesund bleiben und nicht an Krankheiten leiden müssen. Die dahintersteckende Idee ist eine klare wissenschaftlich-medizinische Realität. Sie wird kommen, die Frage ist nur, wie schnell es passiert. Und wie effektiv man vorankommt.“

Text: Klaus Wilhelm

Prof. Dr. Nikolaus Rajewsky ist Wissenschaftlicher Direktor des Instituts für Medizinische Systembiologie am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin. Gemeinsam mit Geneviève Almouzni vom Institut Curie in Paris leitet er das LifeTime-Projekt.





all
als
herzig
bekannt
haben wir
Intelligenz
rum schlafen
ealität? Warum
dunkle Materie?
gähnen wir? Wo ist
ie Leben entstehen?
die Therapieresistenz
en lösen? Warum werden
en? Können Maschinen ein
das Altern stoppen? Warum
anheilung? Welche biologische
kannten Proteine? Was bedeutet
all? Wie kann man etwas beamen?
computern Denken beibringen? Kann
wingen? Wie entstand das Leben? Hat
es unendlich viele reguläre Primzahlen?
et das Universum? Haben wir einen freien
e turbulente Strömung von Fluiden? Warum
chen im Weltall? Was ist Bewusstsein? Wohin
in unserem Gehirn? Was ist der Sinn des Lebens?