



WIE IST UNSER GEHIRN GESTRICKT?

Auf welchen Wegen Forscher das komplexe System in unserem Kopf entwirren wollen

RÄTSELHAFT

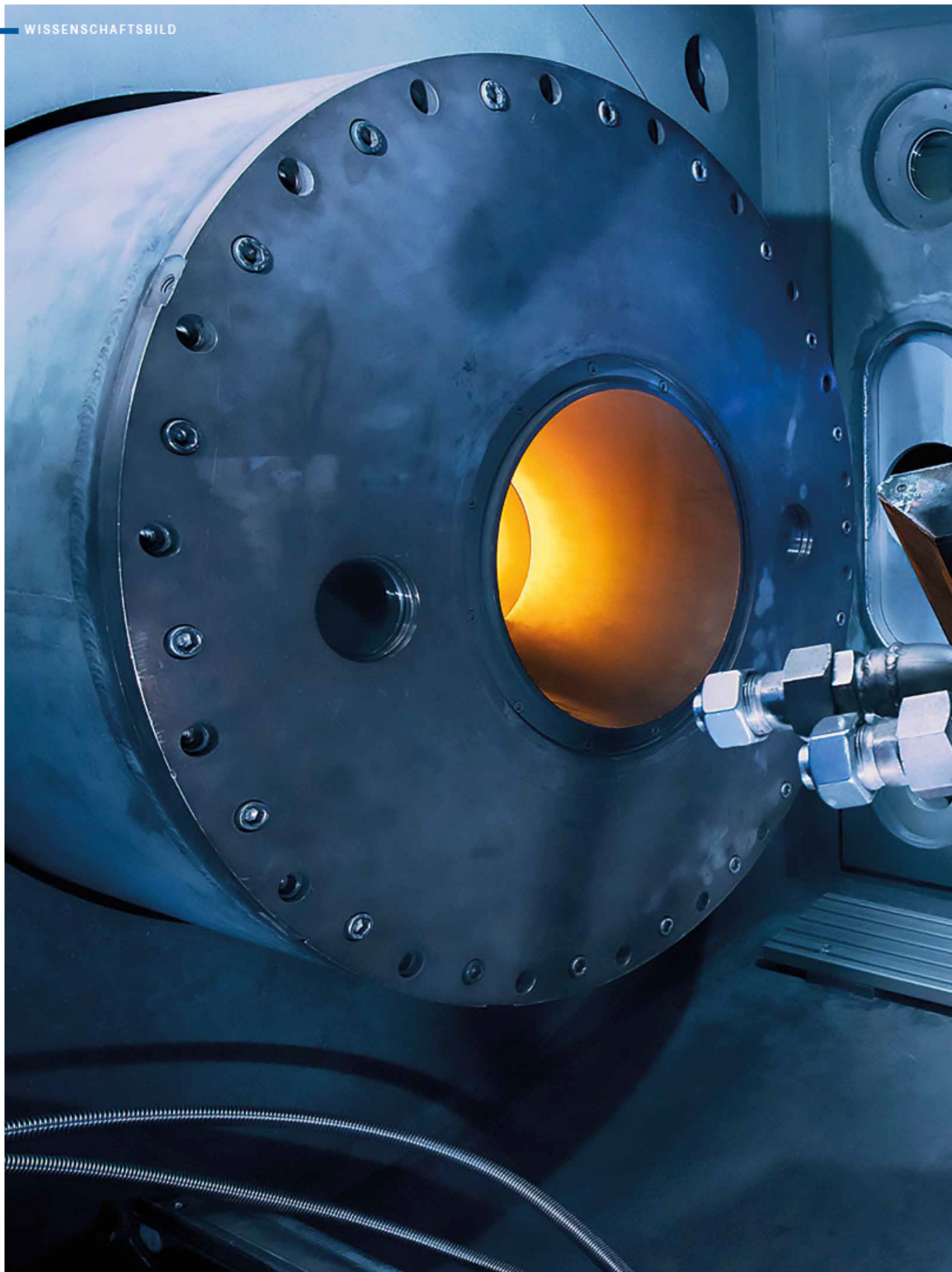
Wer entführte die Unterwasserstation?

ABLÖSBAR

Auf der Suche nach dem perfekten Kleber

LUFTIG

Wie Forscher das (Wind-)Rad neu erfinden





Hitzetest für Raumfahrzeuge

Wie ein posierender Roboter wirkt die Halterung in der Mitte, aus dem Ofen links glüht es heiß wie in einem Stahlwerk. Doch es werden hier nicht etwa Metalle geschmolzen, sondern Paneele von Flugkörpern auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Hitze getestet. Tritt ein Raumschiff in die Erdatmosphäre ein, erhitzt sich die Hülle auf mehrere Tausend Grad. Ob ein Material oder eine Konstruktion solchen Temperaturen standhält, prüft das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) in Köln in einem beheizten Windkanal. Die zentrale Komponente der Anlage ist ein sogenannter Lichtbogenbrenner, der im Innern ein Gas auf bis zu 7.000 Grad Celsius aufheizt – so heiß wird es beim Wiedereintritt in die Atmosphäre aufgrund von Reibungseffekten, die auf den Oberflächen von Flugkörpern entstehen. In der Messkammer trifft das Gas mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern pro Sekunde auf das Modell, das in der Halterung in der Mitte eingespannt ist. Das entspricht in etwa der Geschwindigkeit, mit der ein Raumschiff von der ISS zur Erde zurückkehrt. ◆

Franziska Roeder



ONLINE

Mehr eindrucksvolle Bilder aus der Wissenschaft finden Sie hier:

→ [www.helmholtz.de/
wissenschaftsbild](http://www.helmholtz.de/wissenschaftsbild)

TITELTHEMA

- 08** Das Geheimnis im Kopf
Wie Forscher das Rätsel des menschlichen Gehirns entwirren wollen
- 14** Das Denken entschlüsseln
Interview mit Onur Güntürkün

WISSENSCHAFTSBILD

- 02** Hitzetest für Raumfahrzeuge

INFOGRAFIK

- 06** Klimawandel & Gesundheit
Wie sich der Klimawandel und seine Folgen auf uns auswirken

STANDPUNKTE

- 24** KI muss gerechter werden
Künstliche Intelligenz hat ein großes Diskriminierungspotenzial, findet Sanaz Mostaghim
- 30** Sollten Wissenschaftler politischer werden?
Zwei Blickwinkel: Martina Schäfer und Reinhard Hüttl

PORTRÄT

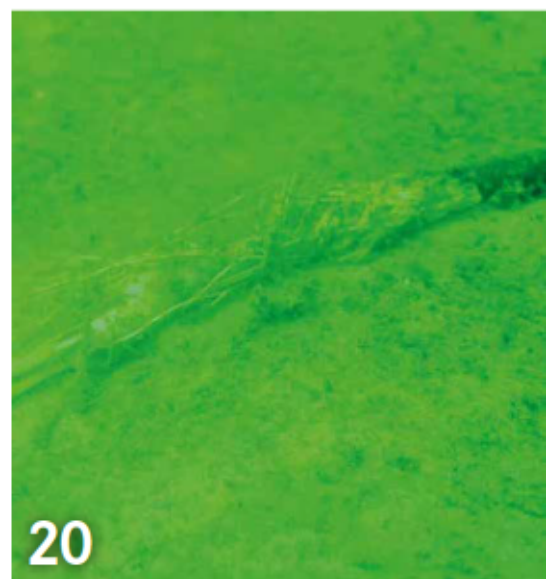
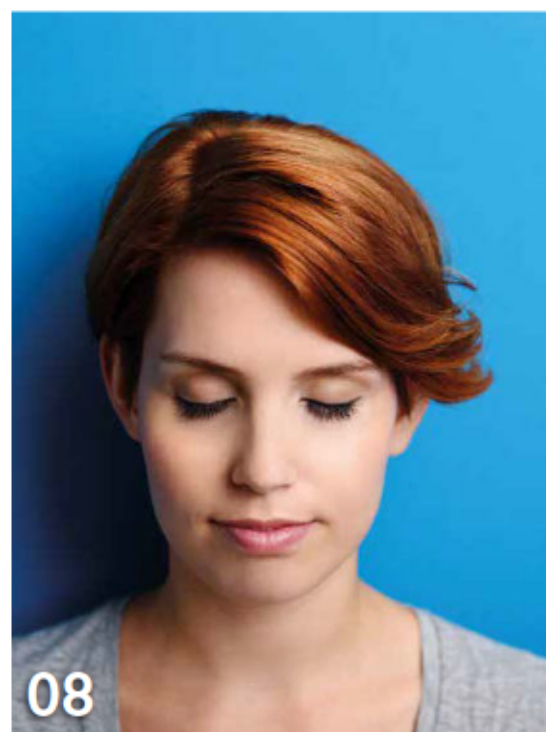
- 40** Der DNA-Künstler
Anton Henssen

FORSCHUNG

- 07** Helmholtz extrem
Die Teilchen mit der geringsten Masse
- 16** Helmholtz kompakt
Neues aus der Helmholtz-Welt
- 19** Resonator-Podcast
Winzige Schätze bergen
- 20** Der Krimi von Boknis Eck
Das rätselhafte Verschwinden einer Unterwasserstation
- 25** Nachgefragt
Wie viel CO₂ steckt in einem Liter Benzin?
- 26** Das Rad neu erfinden
Wie Windräder effizienter und umweltfreundlicher werden könnten
- 32** Eine Bindung für die Ewigkeit?
Die Suche nach dem perfekten Halt: bombenfest, aber lösbar
- 36** Helmholtz weltweit
Jagd nach Trinkwasser unter dem Meer

EXPERIMENT

- 43** Kleine Forscher
Schwimmen oder Sinken – alles eine Frage der Dichte



IMPRESSUM

Helmholtz Perspektiven
Das Forschungsmagazin der Helmholtz-Gemeinschaft
perspektiven@helmholtz.de
www.helmholtz.de/perspektiven

Herausgeber
Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren e.V.

Büro Berlin, Kommunikation und Außenbeziehungen
Effrosyni Chelioti (V.i.S.d.P. Roland Koch)
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 · 10178 Berlin
Tel. +49 30 206329-57 · Fax +49 30 206329-60

Chefredaktion Annette Doerfel
Artidirektion Stephanie Lochmüller, Franziska Roeder
Schlussredaktion Andrea Mayer

Redaktion
Kristine August, Annette Doerfel, Kai Dürfeld,
Kilian Kirchgeßner, Lars Klaußen, Roland Koch,
Sebastian Leber, Sina Löschke, Franziska Roeder,
Isabell Spilker, Agata Tuzimek

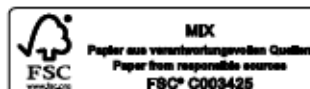
Bildnachweise
Titel/Umschlag: Shutterstock/TanyaJoy, Flaticon;
S. 4–5: stockfour, Galushko Sergey, J. Marijs, krolya25
(alle Shutterstock), Forschungstauchzentrum der CAU,
Linda Ambrosius, Tamara Worzewski/Mira Mundum;
S. 6: Franziska Roeder (Infografik), Shutterstock/Antun
Hirsman, Flaticon; S. 7: Shutterstock/betibup33; S. 8–9:
stockfour, Galushko Sergey, giedre vaitekune, Arttis (alle
Shutterstock); S. 10–11: Flaticon, Shutterstock/giedre
vaitekune/Arttis; S. 13: Flaticon, Shutterstock/giedre
vaitekune; S. 18: Alfred-Wegener-Institut/Kerstin Rolles,
KIT, Marco Urban; S. 19, 21–23: Freepik; S. 23: Shutter-

stock/Hennadii H; S. 24, 30–31: Sylvia Wolf; S. 26–27:
Shutterstock/Oleksii Sidorov; S. 28: Shutterstock/J.
Marijs, Frederick Flak (Infografik); S. 29: Shutterstock/
Mr.Cheangchai Noojuntuk; S. 32: Shutterstock/krolya25;
S. 33–34: Shutterstock/Fotaro1965; S. 34: Antonio
Baccardi, ADragan (alle Shutterstock); S. 35: fotomirk,
irin-k, Mr.B-king (alle Shutterstock); S. 41: Linda
Ambrosius; S. 43: Tanja Hildebrandt

Druck/Vertrieb
Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG,
Frankfurt a. M.

Papier
Arctic Volume
white

ISSN
2197-1579





Liebe Leserinnen, liebe Leser,

alle Nervenbahnen eines Gehirns messen zusammen rund 5,8 Millionen Kilometer: Damit könnte man 145-mal die Erde umrunden. Kein Wunder also, dass unser Hirn noch immer so viele Geheimnisse birgt. In unserer Titelseite zeigen wir, wie Forscher mühsam versuchen, seine Funktionen zu entwirren – und welche ersten Erkenntnisse die 1.000-Gehirne-Studie hervorbringt. Zudem erzählt Onur Güntürkün, wie Psychologen das Rätsel des Denkens entschlüsseln wollen.

Mysteriös ist auch der „Krimi um Boknis Eck“: Wieso ist eine Unterwasserstation in der Eckernförder Bucht spurlos verschwunden? Waren es Diebe, Wale oder etwa ein illegaler Schleppnetzfisher? Die Kripo ermittelt.

Last but not least geht es im Porträt mit Anton Henssen in dessen Atelier: Der Krebsforscher arbeitet nicht nur mit DNA im Labor, sondern verewigt sie sogar auf der Leinwand.

Übrigens: Folgen Sie einfach den Icons im Heft und tauchen Sie online noch tiefer ein in die bunte Welt der Forschung. Viel Spaß beim Lesen, Anschauen und Hören!

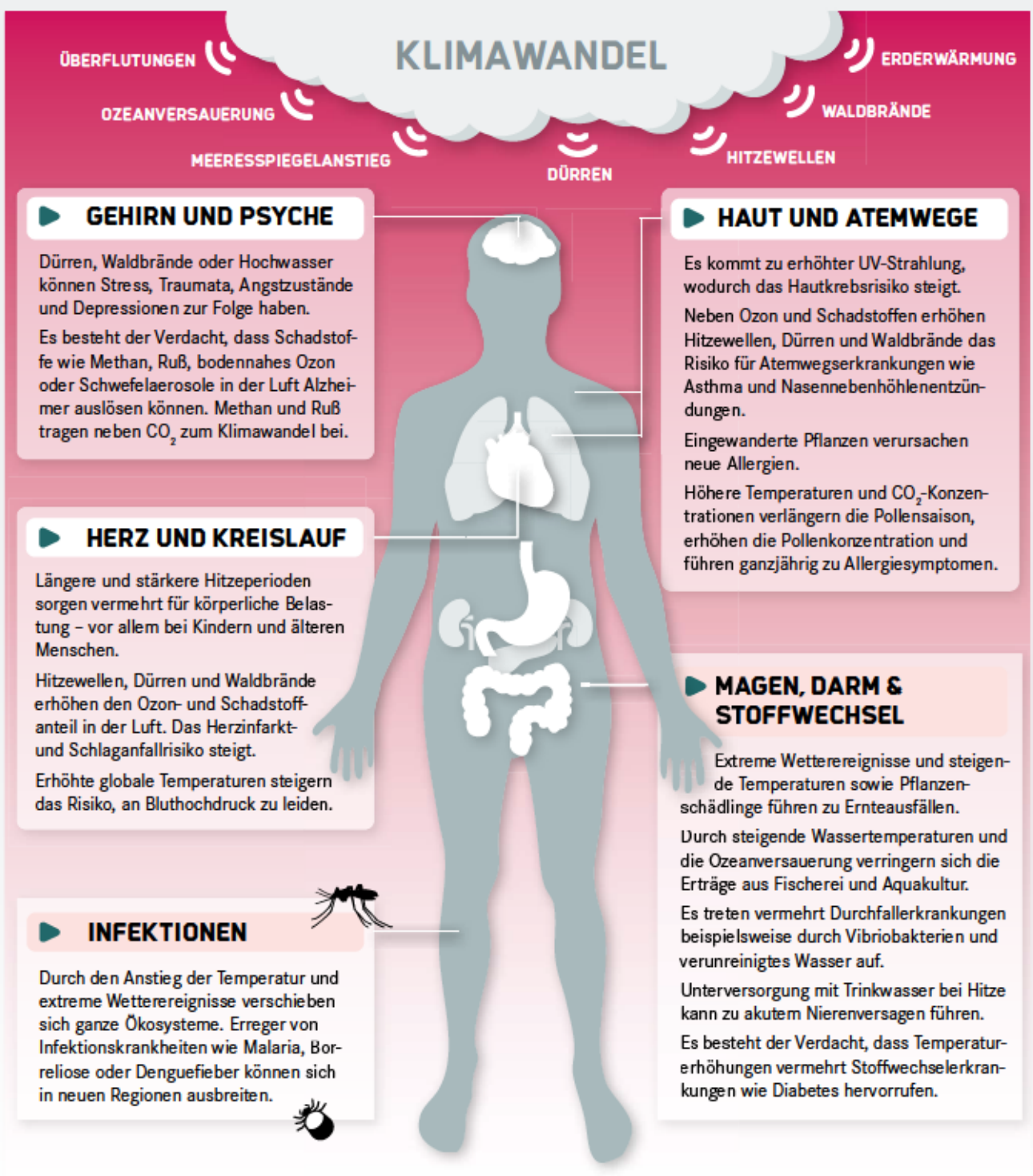
Annette Doerfel
Chefredakteurin

→ Kostenloses Abo

Möchten Sie die Druckausgabe der Helmholtz Perspektiven kostenlos beziehen? Dann schreiben Sie eine E-Mail an: perspektiven@helmholtz.de

Klimawandel & Gesundheit

Der Klimawandel und seine Folgen wie Überschwemmungen, Dürren und Waldbrände gefährden direkt das Leben von Menschen. Klimabedingte Umweltzerstörung, Hunger und Armut lösen soziale Konflikte und Migration aus. Doch auch verschiedenste Erkrankungen können die Folge des Klimawandels sein. Kinder und Ältere sind besonders betroffen.



Quelle: Helmholtz-Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt; Watts N. et al., The Lancet 2019, doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32596-6; Chen K. et al., European Heart Journal 2019, doi.org/10.1093/eurheartj/ehz116; Umweltbundesamt, Klimawandel und Gesundheit

HELMHOLTZ extrem

Die Teilchen mit der geringsten Masse



Unaufhörlich durchqueren sie unsere Körper, ohne dass wir es merken: Neutrinos. Pro Sekunde durchfliegen rund 100 Milliarden jeden Quadratzentimeter der Erdoberfläche. Auch mehr als 60 Jahre nach ihrem Fund geben Neutrinos der Wissenschaft Rätsel auf, denn sie sind nur schwer nachzuweisen: Sie besitzen keine elektrische Ladung, kein magnetisches Moment und auch die Kernkräfte der Atome lassen sie kalt. Da sie so schwer zu fassen sind, werden sie auch Geisterteilchen genannt.

Zumindest einem ihrer Rätsel kommen Forscher des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) nun auf die Spur: der Masse der Teilchen. Vor rund 20 Jahren konnte gezeigt werden, dass Neutrinos – entgegen früheren Annahmen – überhaupt eine Masse besitzen. Den KIT-Forschern ist es nun gelungen, ihr Gewicht exakter als je zuvor einzugrenzen. Dafür waren allerdings 15 Jahre Vorbereitungszeit notwendig: Für das sogenannte Katrin-Experiment wurde eine 70 Meter lange Apparatur mit einem gewaltigen, 200 Tonnen schweren Ultrahochvakuumbehälter zusammengebaut. Der Versuchsaufbau dient dazu, mit Spektrometern

den radioaktiven Zerfall einer bestimmten Variante des Elements Wasserstoff (Tritium) zu untersuchen. Bei seinem Zerfall entsteht ein Elektron und ein Neutrino. Deshalb kommt Albert Einsteins berühmte Formel zur Äquivalenz von Energie und Masse ins Spiel: $E=mc^2$. Die Forscher ermitteln damit den Fehlbetrag der Energie der Zerfallsprodukte und berechnen die gesuchte Neutrinomasse.

Die Messungen zeigen, dass sie mindestens 500.000-mal leichter sind als Elektronen. Ihre Masse liegt maximal bei lediglich 1,1 Elektronenvolt. „Bereits nach einer Messkampagne von nur wenigen Wochen wissen wir, dass Katrin die weltbeste Sensitivität für die Neutrinomasse besitzt und die Messungen der Vorgängerexperimente um den Faktor 2 verbessert hat“, sagt Guido Drexlin vom KIT. Die Forscher wollen nun die Genauigkeit der Messung weiter optimieren – und kommen dabei neben einer immer präziseren Eingrenzung der Masse womöglich weiteren physikalischen Eigenschaften der Geisterteilchen auf die Spur. ◆

Annette Doerfel



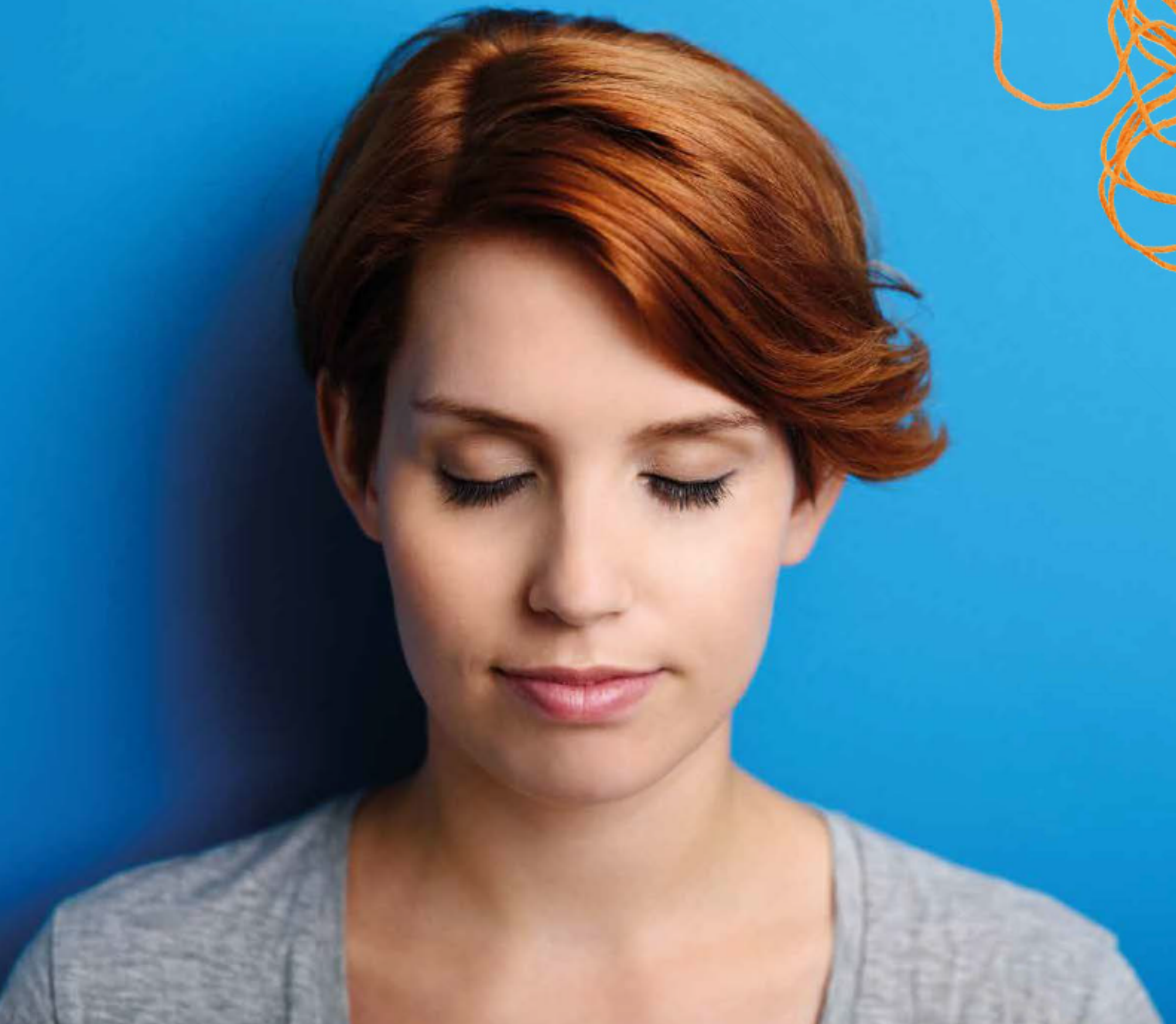
ONLINE


Alle Ausgaben von
HELMHOLTZ extrem
unter:

→ [www.helmholtz.de/
extrem](http://www.helmholtz.de/extrem)



DAS GEHEIMNIS IM KOPF





Seit Generationen versuchen Wissenschaftler, dem menschlichen Gehirn auf die Spur zu kommen. Stück für Stück entschlüsseln sie seine Funktionsweisen. Forscher aus Jülich haben nun die Gehirne von rund 1.300 Menschen gründlich untersucht – und nehmen vor allem die Alterung des Hirns in den Blick.

Ihre Probanden hat sie nicht geschont: „Merken Sie sich folgende Begriffe“, lautete die Aufgabe auf einem Zettel mit etlichen Wörtern, und nach einiger Zeit fragte ein Studienmitarbeiter die Begriffe ab. Dann, nach wiederum langem Warten, kam die erneute Nachfrage: Was ist jetzt noch in der Erinnerung geblieben? „Ein klassischer Gedächtnistest“, sagt Svenja Caspers vom Forschungszentrum Jülich, die die Studie mitentwickelt hatte. Die eigentliche Besonderheit ist die Kombination der Tests mit anderen Untersuchungen: Aufmerksamkeitstests, motorische Übungen, Kernspintomografieaufnahmen des Gehirns, dazu seitenlange Fragebögen zum Lebensstil und zur Lebenssituation sowie Laboruntersuchungen. „Von 2001 bis in die Gegenwart ist da ein unfassbarer Datenschatz zusammengekommen“, sagt Svenja Caspers, die mit Kollegen jetzt daran arbeitet, diesen Schatz zu erschließen.

1.000-Gehirne-Studie heißt das spektakuläre Projekt, von dem sich die Hirnforscher weitreichende Erkenntnisse versprechen: Es könnte zu einem der Mosaiksteinchen werden, die Wissenschaftler seit Jahrzehnten in mühevoller Kleinarbeit aufdecken, um das große Ganze zu erkennen. Mediziner, Neurowissenschaftler, Biologen und Psychologen nähern sich dem Gehirn von verschiedenen Seiten, um seinen Funktionsweisen auf die Schliche zu kommen. Sie studieren haarfeine Schnitte von Gehirnen, sie messen die Aktivitäten und Verknüpfungen verschiedener Hirnregionen, sie untersuchen das Verhalten und die Lernfähigkeit von Affen und Tauben und ver-

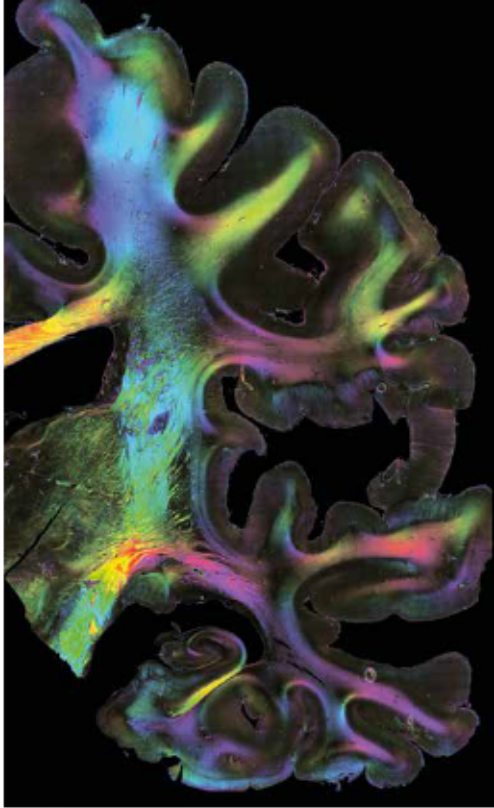
suchen, das Gedächtnis und das Vergessen gleichermaßen zu verstehen – aber trotzdem: „Das Gehirn mit seinen verschiedenen Organisationsebenen von der einzelnen Nervenzelle bis zu den großen Netzwerken von Gehirnregionen ist eines der komplexesten Organe des Menschen“, sagt Svenja Caspers. „Und wenn im Gehirn eines Patienten irgendetwas nicht mehr funktioniert, kann man derzeit häufig nicht oder nur unzureichend helfen. Es fehlt selbst das Grundlagenverständnis.“

Die Stelle, an der die Medizinerin und ihre Kollegen der Universitäten Düsseldorf, Basel und Duisburg-Essen mit der 1.000-Gehirne-Studie ansetzen, ist das alternde Gehirn. Wenn im Alter die signifikantesten Veränderungen auftreten, so ihre Hypothese, müssten sich doch daraus Rückschlüsse ziehen lassen auf die generellen Funktionsweisen – und darauf, welche Faktoren außerhalb des Kopfes Einfluss haben auf das Gehirn. Dazu wurde eine noch nie da gewesene Fülle von Daten zusammengetragen: Es sind gezielt ältere Menschen untersucht worden, die zu Beginn im Jahr 2001 zwischen 45 und 75 Jahre alt waren und über mehr als anderthalb Jahrzehnte hinweg begleitet wurden. Zudem wurde nicht nur das Gehirn betrachtet, sondern auch die gesamte Lebenssituation der Probanden. Die 1.000-Gehirne-Studie ist eine Fortsetzung der Essener Heinz-Nixdorf-Recall-Studie, in der Patienten mit einem besonderen Blick auf das Herz-Kreislauf-System untersucht wurden. Daten zu Umwelteinflüssen, zur Genetik und etlichen weiteren Faktoren wurden erhoben, alle paar Jahre erhielten die Probanden zusätzlich Fragebögen zu ihrer persönlichen Situation, zu ihrem Beruf, zu ihrer Freizeitgestaltung, zu ihrem Verhalten. Nun wurden die gleichen Probanden noch jeweils einen Tag lang zusätzlich untersucht, diesmal mit speziellem Fokus auf das Gehirn. „Wir haben vier verschiedene Lebensstilfaktoren in jedem einzelnen Probanden zusammen betrachtet, nämlich Rauchen, Alkoholkonsum, sportliche Aktivität und soziale Integration“, erläutert Svenja Caspers. Sie fand heraus: Sport, soziale Kontakte und Alkohol wirkten sich direkt auf die Gehirnstruktur aus. Rauchen hingegen beeinflusst weniger die Gehirnstruktur, sondern vielmehr die Kommunikation der Gehirnregionen untereinander. Aber: Ist dieses Ergebnis tatsächlich überraschend – dass also Rauchen und Alkohol eher ungesund, Sport und soziale Kontakte eher gesund sind? Svenja Caspers schüttelt den Kopf. Überraschend sei es nicht gewesen, aber es sei eben auch nicht so banal, wie es auf den ersten Blick vielleicht wirke. Denn in der Studie ließ sich erst-

Gehirnexpertin Svenja Caspers leitet die Arbeitsgruppe Konnektivität am Institut für Neurowissenschaften und Medizin des Forschungszentrums Jülich. Sie ist zudem die Direktorin des Instituts für Anatomie I an der Universität Düsseldorf.

Bild: Forschungszentrum Jülich/Sascha Krecklau





HUMAN BRAIN PROJECT

Neben der 1.000-Gehirne-Studie arbeiten Forscher des Forschungszentrums Jülich auch an einem der derzeit größten neurowissenschaftlichen Projekte weltweit: dem Human Brain Project. Es wurde 2013 als eines von zwei sogenannten EU-Flagship-Projekten der Europäischen Kommission gestartet. Ziel des Projekts ist es, das komplette menschliche Gehirn detailgetreu von der einzelnen Zelle bis hin zur Interaktion großer Zellverbände und Hirnareale auf einem Supercomputer der Zukunft zu simulieren. Die Forscher wollen so das Gehirn besser verstehen, um Krankheiten künftig früher diagnostizieren und gezielter therapieren zu können. Insgesamt sind Forscher der Neurowissenschaften, Medizin, Informatik, Physik und Mathematik von mehr als 135 renommierten wissenschaftlichen Einrichtungen aus 23 Ländern an dem Projekt beteiligt – darunter auch Wissenschaftler des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sowie des Deutschen Zentrums für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE).

→ www.humanbrainproject.eu

mals ein Zusammenwirken der einzelnen Faktoren nachweisen, die bislang – wenn überhaupt – getrennt untersucht wurden.

„Generell versucht ein alterndes Gehirn, seine verloren gegangene Leistung zu kompensieren, indem es andere Bereiche des Gehirns mit hinzuzieht, die für die konkrete Aufgabe eigentlich nicht zuständig sind.“

Zudem sei jetzt die Tür geöffnet zu einer ganzen Reihe von Folgeuntersuchungen: Wie viel Schaden richten welche Faktoren im Gehirn konkret an? Und lässt er sich kompensieren durch gesundes Verhalten in einem anderen Bereich? Daraus ergeben sich dann weitere denkbare Zusammenhänge, zum Beispiel zur Konnektivität im Gehirn. Das ist eine der Fragen, denen sich Svenja Caspers am liebsten widmet. „Generell versucht ein alterndes Gehirn, seine verloren gegangene Leistung zu kompensieren, indem es andere Bereiche des Gehirns mit hinzuzieht, die für die konkrete Aufgabe eigentlich nicht zuständig sind“, erläutert sie. Das

Gehirn sucht sich also Hilfe: Während ein junger Mensch drei oder vier Gehirnregionen für eine Rechenaufgabe benötigt, kann ein älterer Mensch die gleiche Aufgabe auch problemlos lösen – bei ihm aber muss sich das Gehirn noch Ressourcen aus anderen Hirnbereichen hinzuziehen. „Wenn die Aufgaben jetzt immer schwieriger werden“, sagt Svenja Caspers, „hat der ältere Mensch also eher Probleme als der jüngere, weil er nicht mehr so viele Reserven hat.“ Und damit beginnen für sie die interessanten Forschungsfragen: Wie funktioniert das Zusammenspiel der Gehirnregionen? Wie sind sie miteinander verkabelt? Unter welchen Bedingungen und in welchem Maße kann das Gehirn seine alters- oder krankheitsbedingten Verluste ausgleichen? „Plastizität“ nennen die Hirnforscher diese ganz besondere Fähigkeit des Gehirns, sich ständig zu entwickeln, umzubauen, anzupassen.

Dieser faszinierenden Eigenschaft ist auch Wolf Singer auf der Spur. Er ist Gründungsdirektor des gerade neu entstandenen Frankfurter Ernst Strüngmann Instituts. Der 77-Jährige gilt als Doyen dieses Forschungsbereichs in Deutschland. →



Seine ganze Karriere lang studiert er schon, was im Kopf passiert. Seine Zwischenbilanz klingt ernüchternd: „Wir wissen heute, dass wir viel weniger über das Gehirn wissen, als wir vor 20 Jahren zu wissen glaubten.“ Resignierend ist das allerdings nicht gemeint. Es sei einfach die Erfahrung, dass sich hinter jeder geöffneten Tür wiederum weitere Türen verbergen, die ihrerseits mühsam aufgeschlossen werden müssen. Wie das Gehirn aufgebaut sei und was physiologisch im Gehirn passiere, darüber wisse man schon recht viel, sagt Wolf Singer: also darüber, wie die einzelnen Neuronen verschaltet sind, welcher Teil des Gehirns auf welche Reize reagiert. Alle Aufgaben im Gehirn seien horizontal verteilt: „Es gibt nicht diesen einen Chef, der an der Spitze des Systems sitzt und der sagt: Ich beschließe jetzt“, sagt er.

„Die Netzwerke in unserem Gehirn entwickeln eine Dynamik, deren Komplexität wir uns schlicht nicht vorstellen können.“

Am Anfang der Hirnforschung herrschte noch das Bild der Reiz-Reaktions-Maschine vor: Die Augen oder Ohren nehmen einen Reiz auf, der in neuronale Erregung umgewandelt wird, bis am Schluss eine motorische Reaktion herauskommt. So sei es aber gewiss nicht, das wisse man inzwischen, sagt Wolf Singer. Stattdessen sei im Gehirn ein riesiger Schatz an Vorwissen gelagert, der ähnlich funktioniere wie ein Filter, über den alle Wahrnehmungen permanent interpretiert, geordnet und verarbeitet werden. Wolf Singer spricht von „extrem komplexen, raumzeitlich strukturierten Wolken von neuronaler Aktivität“ – ein ungeheures Netzwerk, in dem Informationen verarbeitet werden und das sich mit jeder neuen Information neu zusammensetzt. Klingt abstrakt? Wolf Singer veranschaulicht es mit einem Beispiel: „Stellen Sie sich vor, Sie hätten drei unabhängige Pendel. Deren Schwingungen lassen sich mit einem einfachen mathematischen Formalismus berechnen“, sagt er – und setzt an zum nächsten Schritt: „Wenn Sie die drei Pendel mit einem Gummifaden koppeln, sodass sich deren Schwingungen gegenseitig beeinflussen, dann entsteht eine hochkomplexe nichtlineare Dynamik, die sich mathematisch nicht mehr fassen lässt. Ähnlich verhält es sich mit der Dynamik neuronaler Netzwerke – nur dass wir da nicht von drei Neuronen reden, sondern von vielen Milliarden Neuronen, die alle untereinander verkoppelt sind. Die Netzwerke in unserem Gehirn

entwickeln eine Dynamik, deren Komplexität wir uns schlicht nicht vorstellen können.“

Trotz der Komplexität dringen die Hirnforscher immer weiter vor auf der Suche nach den Geheimnissen dieser Dynamik. Thomas Wolbers setzt dafür auf ein spezielles Hilfsmittel: Der Psychologe leitet in Magdeburg die Arbeitsgruppe Altern und Kognition am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE) – und setzte bei einem Forschungsaufenthalt in Kalifornien zum ersten Mal eine Virtual-Reality-Brille auf. „2006 war das, die Brille war groß, schwer und hatte eine schlechte Auflösung“, erinnert sich Thomas Wolbers und lacht. „Ich weiß noch genau, dass man in der Simulation durch einen Pariser Bahnhof laufen konnte.“ Trotz aller Mängel der neuen Technik war der Psychologe sofort elektrisiert: Er erkannte gleich, dass diese Virtual-Reality-Brillen der perfekte Turbo für seine Forschung sein würden.

Sein großes Thema ist die Navigation. Er sucht nach den Mechanismen, mit denen sich das menschliche Gehirn im Raum orientiert. Für ihn ist das ein Bereich, der als Schlüssel dienen kann – als Türöffner zum tieferen Verständnis des gesamten Denkens. Vordergründig orientiert sich der Mensch anhand von visuellen Reizen; er merkt sich, dass es in seinem Heimatort hinter der Kirche rechts zum Metzger geht und dass bei seinen Freunden die Gästetoilette neben der Treppe untergebracht ist. Aber dann gibt es noch ein hochkomplexes System von Orientierungszellen, die selbst bei kompletter Finsternis registrieren, ob man sich nach vorne oder hinten bewegt, in welchem Winkel man sich dreht und so weiter.

„Seinen Höhepunkt erreicht das Gehirn irgendwann mit Mitte 20. Danach geht es abwärts.“


Eine zentrale Funktion übernehmen sogenannte Gitterzellen, für deren Entdeckung 2014 der Nobelpreis verliehen wurde. Sie bilden im Gehirn eine Art Bezugssystem für die räumliche Orientierung. Beheimatet sind sie in einer Gehirnregion namens entorhinaler Cortex. „Das Spannende ist: Genau dieser entorhinale Cortex ist bei Demenz besonders früh betroffen“, sagt Thomas Wolbers. Er folgert daraus zweierlei: Erstens müsste es doch möglich sein, Demenzen mithilfe von Orientierungstests schon zu diagnostizieren, bevor die Patienten sie im Alltag selbst bemerken. Und zweitens müssten sich diesem offenbar besonders sensiblen Bereich des Gehirns Geheimnisse entlocken las-

sen, die Rückschlüsse auf das Funktionieren des Gedächtnisses zulassen.

In Magdeburg haben Thomas Wolbers und seine Kollegen dafür ein riesiges Bewegungslabor eingerichtet. Es besteht im Wesentlichen aus einem leeren Raum – in ihm können sich Probanden frei bewegen, auf dem Kopf eine Virtual-Reality-Brille. Fast im Monatsrhythmus führen die Forscher neue Experimente ein, für die Probanden durch virtuelle Aufgaben geschickt werden. Manchmal sollen sie einem Heißluftballon im Zickzackkurs durch den Raum folgen – und am Schluss versuchen, selbstständig an ihren Ausgangspunkt zurückzufinden. Beim nächsten Mal können sie dank der virtuellen Realität durch eine Stadt laufen, die sie noch nicht kennen, und sollen sich dabei Gebäude und Orte einprägen. Diese Experimente machen Thomas Wolbers und sein Team mit jungen und mit älteren Probanden. „Seinen Höhepunkt erreicht das Gehirn irgendwann mit Mitte 20“, sagt Thomas Wolbers, „danach geht es abwärts.“ Bei seiner Forschung steht die Frage im Mittelpunkt, wie genau sich das Altern auf das Gehirn auswirkt.

Es ist die gleiche Frage, die auch Svenja Caspers antreibt, die mit der 1.000-Gehirne-Studie versucht, die Antwort an einer anderen Stelle zu finden. Stück für Stück setzen die Forscher so aus unterschiedlichen Richtungen das Mosaik zusammen, aus dem sich schließlich ein Bild des ganzen Gehirns ergeben soll – und das es eines Tages vielleicht ermöglicht, das Gehirn länger jung zu erhalten. ◆

Kilian Kirchgeßner



Orientierungstest
Ein Proband versucht, sich in einer virtuellen Realität zurechtzufinden.
Bild: Sarah Kossmann



Von Tauben lernen Onur Güntürkün forscht seit vielen Jahren an Tauben. An den Vögeln untersucht er, wie das Gehirn grundlegende Prozesse vollzieht: Wahrnehmen, Entscheiden, Lernen. Bild: C. Heinemann

„AM ANFANG WURDEN PSYCHOLOGEN IN DER HIRNFORSCHUNG NICHT WIRKLICH ERNST GENOMMEN“

Der Bochumer Gehirnforscher Onur Güntürkün erzählt über seine Versuche mit Tauben – und darüber, warum neben Medizinern und Biologen auch Psychologen nötig sind, um das Denken zu entschlüsseln.

Herr Güntürkün, wenn ein Schüler Sie fragt, was er studieren soll, wenn er alles über das Gehirn und das Denken erforschen will – würden Sie ihm zu Psychologie, Medizin oder Biologie raten?

Definitiv zu Psychologie, ganz klar.

Dann haben Sie selbst ja alles richtig gemacht, oder?

Als ich angefangen habe mit meinem Studium, war ich im ersten Semester enttäuscht, wie buchstäblich „hirnlos“ die damalige Psychologie war. Sie bestand aus einem Kanon sehr spannen-

der Erkenntnisse über das menschliche Verhalten und Erleben. Aber die meisten Psychologen sahen keinen Bezug zwischen Psychologie und Gehirn.

Warum aber braucht man dann die Psychologie, um das Gehirn zu verstehen?

Das Denken lässt sich aus zwei Richtungen erkunden: Zunächst gibt es die Ebene, die ich abstrakt nenne und die wir in der Psychologie betrachten – da geht es um die Entdeckung der Mechanismen und Regelmäßigkeiten des Denkens. Und es gibt die zweite, die biologische Ebene: Wie wird das Denken im neura-

len Substrat generiert? Ich nenne diese Unterscheidung gerne den trockenen Bereich und den nassen Bereich: Trocken bedeutet, dass ich mir die Hände als Psychologe nicht nass mache, während Biologen und Mediziner bei ihrer Arbeit am Gehirn häufig am nassen Substrat arbeiten.

Hat Sie selbst das Nasse nie gereizt?

Es gab tatsächlich eine Zeit in meinem Leben, in der ich dachte, alle Antworten lägen im nassen Bereich. Einige Jahre lang bin ich dorthin abgewandert und habe versucht, von den Synapsen aus,

also dem kleinsten Teil ganz unten auf der neuronalen Ebene, das Denken zu entschlüsseln. Aber ich merkte, dass ich den Weg nie finden werde, wenn ich mich von den Synapsen aus Schritt für Schritt nach oben arbeite. Man muss das Denken gleichzeitig auf diesen zwei verschiedenen Ebenen analysieren, davon bin ich fest überzeugt. Und die Kombination dieser zwei Ebenen macht auch die Stärke der neurowissenschaftlichen Psychologie aus. Und genau daran, dass am Anfang von Neurobiologen die trockene Ebene für verzichtbar gehalten wurde, wäre fast das Human Brain Project gescheitert.

Tatsächlich?

Am Anfang war es so angelegt, dass die beteiligten Wissenschaftler sich auch von den Synapsen aus emporarbeiten wollten. Andere Forscher hielten diesen Ansatz für falsch – und sie hatten recht: Man braucht einfach beide Seiten, die nasse und die trockene. Wir müssen immer von den zwei Enden des Mentalen vorgehen. Wir müssen uns ergänzen. Jetzt sind übrigens beide Seiten im Human Brain Project enthalten, und nach meiner Überzeugung steigt damit die Chance auf einen Durchbruch.

Ist es eine neue Erkenntnis, dass beide Seiten zusammengehören?

Ganz neu ist sie nicht, aber ich kann schon im Verlauf meiner eigenen wissenschaftlichen Laufbahn eine Verschiebung erkennen. Am Anfang waren Psychologen auf großen Kongressen der Hirnforscher kaum präsent oder wurden nicht wirklich ernst genommen. Das hat sich grundlegend geändert. Wenn Hirnforscher heute in den großen Zeitschriften publizieren wollen, brauchen sie deutlich umfassendere Erklärungen; eine viel fundiertere Theorie, mit der sich die Teillaspekte zu einem größeren Bild kombinieren lassen. Sie müssen also in ihrer Forschung die verschiedenen Aspekte kombinieren können, und deshalb wächst der Wunsch, über die Disziplinen hinweg zusammenzuarbeiten. Ich merke das übrigens allein schon an den Bewerbungen, die hier am Lehrstuhl mitarbeiten möchten: Sie sind heute fast

alle hybrid und haben ganz selbstverständlich Kenntnisse aus den verschiedenen Bereichen der Hirnforschung.

Sie selbst arbeiten im Bereich der experimentellen Psychologie viel mit Tauben. Was genau machen Sie da?

Ein Kollege sagte einmal: Psychologen untersuchen weiche Fragen mit harten Methoden. Man könnte zum Beispiel fragen: Wie erkenne ich einen Gegenstand? Das ist eine weiche Frage, auf die man nicht sofort antworten kann. Aus dem Blickwinkel der experimentellen Psychologie kann man aber zuerst sehr viele Teilfragen stellen, die sich experimentell überprüfen lassen. Wir zerlegen die große Frage also in kleine Bausteine, die wir isoliert betrachten und umfassend experimentell untersuchen können.

Wie sehen solche Experimente aus?

Bei uns sitzen die Tauben in kleinen Kästchen, die auf einer Seite einen Bildschirm haben. Wir zeigen darauf zum Beispiel zwei Farben, Rot und Grün. Pickt die Taube auf Grün, wird es in dem Kästchen für zwei Sekunden dunkel, und das mögen Tauben gar nicht. Pickt sie hingegen auf Rot, bekommt sie Futter zur Belohnung. Nach einer Viertelstunde weiß die Taube, dass es eine gute und eine schlechte Farbe gibt. Sie hat also etwas gelernt, und wir lernen als Beobachter aus den Lernkurven, den Fehlern und vielen weiteren Parametern Details über das Lernen, über das Gedächtnis dieses Prozesses. Das ist natürlich ein banales Beispiel, unsere Experimente sind weit komplexer – aber das Prinzip ist immer das gleiche: Über solche einzelnen Aspekte gelangen wir immer tiefer in die Mechanismen des Denkens hinein.

Lassen sich solche Erkenntnisse denn von Tauben auf Menschen übertragen?

Ja, es gibt viele Anknüpfungspunkte. Gerade jetzt komme ich von einem Kolloquium, das wir hier am Lehrstuhl abgehalten haben. Was uns sehr beschäftigt, ist die Frage, warum Vögel es schaffen, mit einem sehr viel kleineren Gehirn sehr viel mehr zu leisten als Säugetiere. Vor einigen Jahren habe ich dazu eine große

Forschungsreihe gestartet, in der wir untersuchen, wie Wissen in unserem Gehirn repräsentiert ist – und was überhaupt das Wissen ist. Haben größere Gehirne mehr Wissen, weil sie über mehr Synapsen verfügen? Wie ist überhaupt Information kodiert? Und da haben wir aufsehenerregende Ergebnisse erzielt.

Aber ist das noch psychologisch?

Ja, natürlich! Jetzt fragen Sie übrigens wie die Psychologen vor 30 Jahren. Unsere Probanden kreuzen Antworten in Tests an, füllen Fragebogen aus und legen sich dabei in den Scanner, sodass wir rekonstruieren können, wie Detailstrukturen des Gehirns mit Wissen im Zusammenhang stehen.

Trotzdem ist das Wissen um die Funktionsweisen des Gehirns ja noch sehr überschaubar. Glauben Sie, dass es sich eines Tages entschlüsseln lässt?

Aber klar! Letztlich ist es ein Organ, und das werden wir verstehen, auch wenn es noch sehr lange dauern wird. Uns drängt ja nichts: Wir haben Zeit genug für die Forschung. Ständig wachsen neue Generationen von neugierigen Forschern heran. Das ist unser großer Vorteil. ♦

Interview: Killian Kirchgeßner

Onur Güntürkün
wurde in Izmir (Türkei) geboren und studierte nach dem Abitur Psychologie in Bochum. Nach Stationen in Paris, San Diego und Konstanz kehrte er 1993 mit nur 35 Jahren als einer der jüngsten Professoren an die Ruhr-Universität Bochum zurück. Für seine Forschung über die biologischen Grundlagen des Denkens wurde er vielfach ausgezeichnet: unter anderem mit dem Leibniz-Preis 2013 und dem Communicator-Preis 2014.

→ HELMHOLTZ kompakt



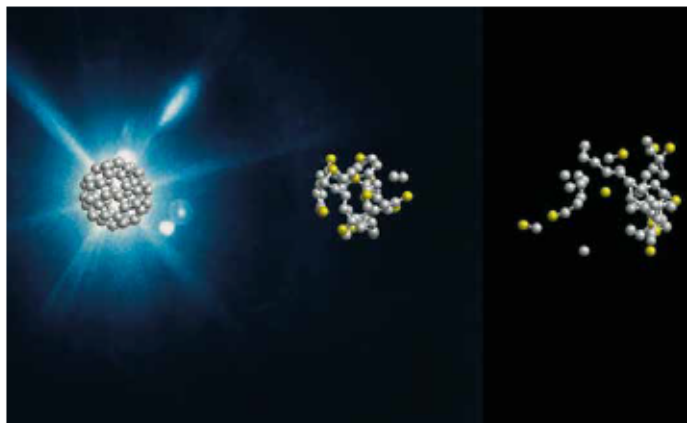
Steigerung Für 2020 wurde eine Erweiterung des Supercomputers JUWELS angekündigt: Eine Boost-Stufe sorgt dafür, dass die Rechenleistung von 12 Petaflops auf 70 Petaflops ansteigt. Damit wäre er der schnellste Supercomputer Europas und unter den Top Ten weltweit. Bild: Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau

Durchbruch beim Quantencomputer

Forscher von Google haben mit Partnern, unter anderem dem **Forschungszentrum Jülich**, den Nachweis der sogenannten Quantenüberlegenheit erbracht. Der Begriff beschreibt den Moment, in dem Quantencomputer Probleme berechnen können, die auch die derzeit besten Supercomputer nicht schaffen. Quantencomputer besitzen als Speichereinheit statt digitaler Bits sogenannte Qubits. Bei ihnen gibt es nicht nur die klassische binäre Information 0 oder 1, sondern auch Werte dazwischen, wodurch die Rechenleistung deutlich steigt. Der genutzte Quantenprozessor „Sycamore“ verfügt über 53 Qubits. Der Aufwand für die Berechnung hängt allerdings nicht nur von der Qubits-Anzahl ab, sondern auch von der Komplexität der Quantenschaltung. Die Forscher brachten gleich mehrere Schaltungen mit 53 Qubits zum Laufen. So benötigte Sycamore lediglich 200 Sekunden, um

eine komplexe Aufgabe zu berechnen. Ein aktueller Superrechner hätte hierfür 10.000 Jahre gebraucht. Für die Simulation der Quantenschaltungen wurden verschiedene Algorithmen auf dem Supercomputer Summit, Google-Cloud-Servern und dem Jülicher Supercomputer JUWELS genutzt. Die Jülicher Forscher trugen mithilfe der Simulationssoftware JUQCS dazu bei, die Leistung von Quantenschaltungen mit bis 43 Qubits zu bewerten. In den vergangenen Jahren konnten sie bereits mehrfach unter der Leitung der Physikerin Kristel Michielsens Rekorde bei der Simulation von Quantencomputern erzielen. Die Simulationsverfahren werden genutzt, um Algorithmen für künftige Quantenrechner zu entwickeln und Methoden der Fehlerkorrektur vorab auf relativ großen Systemen zu erproben.

Publikation: doi: 10.1038/s41586-019-1666-5



Zerschossen Computersimulation der Reaktion eines Fußballmoleküls auf einen Röntgenlaserstrahl nach 0, 60 und 240 Femtosekunden. Bild: DESY, Zoltan Jurek

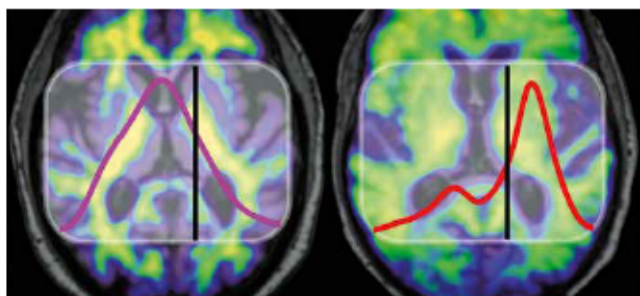
Wie molekulare Fußbälle zerplatzen

Sogenannte Fußballmoleküle bestehen aus 60 kugelförmig angeordneten Kohlenstoffatomen. Sie kommen in der Natur nur in geringen Mengen vor, könnten aber künstlich hergestellt künftig als Katalysator, Schmiermittel, Halb- und Supraleiter verwendet werden. Ein Team, an dem auch Forscher des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY beteiligt sind, hat nun in Echtzeit verfolgt, wie Fußballmoleküle mit Blitzen eines Röntgenlasers beschossen werden. Die Blitze dauerten jeweils nur wenige Femtosekunden (also den billiardsten Teil einer Sekunde). Die Moleküle zerplatteten langsamer und anders als erwartet. Die Beobachtung ist bedeutsam für die Analyse empfindlicher Proteine und anderer Biomoleküle, die ebenfalls häufig mit Hilfe heller Röntgenlaserblitze durchleuchtet werden. *Publikation: doi: 10.1038/s41567-019-0665-7*

Alzheimer 14 Jahre vor Diagnose vorhersagen

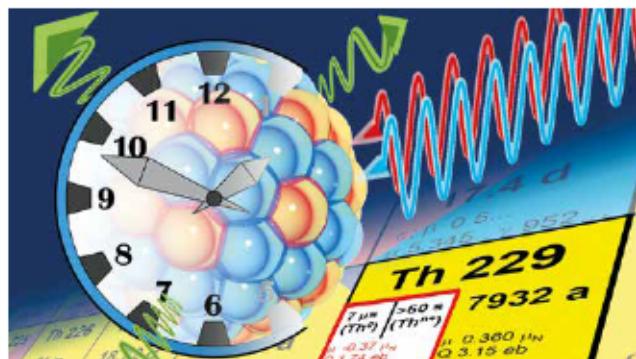
Alzheimer wird meist erst diagnostiziert, wenn bei den Patienten bereits irreversible Gehirnschäden sichtbar sind und sie vergesslich werden. Die Krankheit beginnt jedoch schon Jahre zuvor, wenn sich Amyloidproteine fehlerhaft falten. Der Altersforscher Hermann Brenner vom Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) konnte nun mit Kollegen von der Ruhr-Universität Bochum zeigen, dass ein Bluttest ein erhöhtes Alzheimerisiko bereits weit vor dem Auftreten sichtbarer Symptome anzeigen kann. Sie untersuchten Blutproben von 150 Teilnehmern der im Jahr 2000 initiierten ESTHER-Studie, bei denen im Verlauf von 14 Jahren eine Demenz diagnostiziert wurde. Zusätzlich wurden die Blutproben von 620 Teilnehmern ohne Demenzdiagnose zur Kontrolle geprüft. Für die später an Alzheimer erkrankten Menschen zeigte der Bluttest gegenüber der Kontrollgruppe ein bis zu 23-fach erhöhtes Erkrankungsrisiko an – und zwar bis zu 14 Jahre vor der Diagnose. Bei anderen Demenzformen lieferte der Test keine Hinweise auf erhöhte Risiken. Somit erkennt er spezifisch das Alzheimerisiko. Die Forscher wollen nun in weiteren Studien prüfen, ob sich der Test zur Ermittlung des Alzheimerrisikos bei beschwerdefreien Menschen eignet.

Publikation: doi: 10.1016/j.jalz.2019.08.189



Hinweis Fehlgefaltete Amyloid-Beta-Proteine (rechts) absorbieren Infrarotlicht anders als gesunde (links). Der Bluttest kann die Frequenzverschiebung bei Alzheimererkrankten anzeigen. Bild: K. Gerwert, A. Nabers/RUB

Auf dem Weg zur genauesten Uhr der Welt



Genau Schwingungen im Atomkern von Thorium-229 sollen als Taktgeber für künftige Atomkernuhren dienen. Bild: C. Düllmann, GSI und JGU

Atomuhren gehen in 30 Milliarden Jahren nur um eine einzige Sekunde falsch. Forscher arbeiten jedoch an noch präziseren Zeitmessern, den sogenannten Kernuhren. Bei ihnen dienen nicht die Schwingungen in der Elektronenhülle als Taktgeber, sondern jene im Atomkern selbst. Dieser ist etwa 100.000-mal kleiner als die Atomhülle und dadurch weniger anfällig für Störungen. Hervorgerufen werden die Schwingungen durch Übergänge zwischen Energieniveaus, die bei Atomuhren mit Lasern erzeugt werden. Allerdings liegen die in Atomkernen vorherrschenden Energien um mehrere Größenordnungen über denen der Atomhülle, deshalb können Kerne mit heutigen Lasern normalerweise nicht angeregt werden. Der einzige mögliche Kandidat für die Entwicklung einer Kernuhr ist Thorium-229, da für die Anregung dieses Isotops ultraviolette Strahlung ausreicht. Ein Forscherteam unter Beteiligung des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung in Darmstadt konnte nun erstmals zeigen, wie viel Energie beim Zerfall eines angeregten Thorium-229-Atomkerns frei wird – eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung geeigneter Laser und letztlich der Kernuhr.

Publikation: doi: 10.1038/s41586-019-1533-4

Verdienstorden für Helmholtz-Forscherinnen



Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier hat zum Tag der Deutschen Einheit 25 Frauen und Männer mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet. Unter den Preisträgern befinden sich auch zwei Helmholtz-Forscherinnen: Antje Boetius, Meeresbiologin und Direktorin des **Alfred-Wegener-Instituts**, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), und die Materialforscherin Britta Nestler vom **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**. Antje Boetius „bringt sich nicht nur in viele hochrangige Gremien ein, sondern macht die neuesten Erkenntnisse der Ozeanologie auch einem breiten Publikum zugänglich“, heißt es in der Begründung. Die Computermodelle von Britta Nestler „berechnen die Lebensdauer von Materialien, ermöglichen es, Ressourcen effizienter einzusetzen, und haben Nachhaltigkeit im Blick“. Ebenfalls ausgezeichnet wurden unter anderem der ISS-Kommandant Alexander Gerst und der Musiker Udo Lindenberg.

Erwin-Schrödinger-Preis für Solarzellenforscher



Sie sind die großen Hoffnungsträger in der Solarzellforschung: Perowskite. In kürzester Zeit haben sie einen Wirkungsgrad erreicht, den Siliziumzellen erst nach jahrzehntelanger Optimierung lieferten. Ein interdisziplinäres Forscherteam vom **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** hat nun die Mikrostruktur und die besonderen Eigenschaften der Perowskitsolarzellen untersucht. Die sechs beteiligten Wissenschaftler konnten zeigen, dass ein typischer Baustein von metallorganischen Perowskiten ferroelektrisch ist. Künftig wollen die Wissenschaftler neue ferroelektrische Verbindungen erforschen, die vor allem umweltfreundlich und nachhaltig sein sollen. Das Forscherteam wurde für seine Entdeckungen nun mit dem Erwin-Schrödinger-Preis ausgezeichnet und erhält insgesamt 50.000 Euro Preisgeld. ◆

Annette Doerfel

Anzeige

WO kommen wir denn da hin, wenn **Computer** unsere Autos *fahren?* Vielleicht zu einem mobileren Alltag.



Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2019

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

#ChanceKI
wissenschaftsjahr.de



Erst lesen, dann hören

Winzige Schätze bergen

Ob in E-Autos oder Smartphones: Viele mineralische Rohstoffe, die in neuen Technologien zum Einsatz kommen, tauchen in der Erde als winzige Erzteilchen auf. Wie man sie effizient gewinnen kann, erklärt Martin Rudolph, Leiter der Abteilung Aufbereitung am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) in Folge 163 des Resonator-Podcasts.

RESONATOR: FOLGE 163

Flotation ist eine Methode, mit der sich aus Erzen wertvolle Rohstoffe gewinnen lassen. „Ich vergleiche den Vorgang gerne mit dem, was Aschenputtel auferlegt wurde: Die Wertstoffe kommen ins Töpfchen, die weniger wertvollen Mineralien ins Kröpfchen“, sagt der Verfahrenstechniker Martin Rudolph.

Beim Flotationsverfahren wird das fein zermahlene Erzgestein, in dem sich winzige Metallertpartikel befinden, mit Wasser vermischt. In diese Flüssigkeit werden dann Gasblasen eingeleitet. An Teilchen mit wasserabstoßender Oberfläche – und das sind genau die Wertstoffe – haften die Blasen an und steigen nach oben. Dort lassen sie sich problemlos abschöpfen. Die Flotationstechnologie existiert seit über 100 Jahren. Bei winzig

kleinen Partikelgrößen von 20 Mikrometern – das ist nicht einmal halb so dick wie ein Menschenhaar – gerät die derzeitige Technologie allerdings an ihre Grenzen. In dieser Größenordnung ließen sich jedoch viele kostbare Rohstoffe gewinnen. An einer Verfeinerung des Verfahrens arbeitet Martin Rudolph.

Mithilfe innovativer Anlagen und verbesserter Prozesse will er sowohl den Wasser- und Energieverbrauch als auch den Einsatz von Chemikalien reduzieren – und die Ausbeute an Rohstoffen erhöhen. Eine wichtige Rolle spielt das Flotationsverfahren auch für die Rohstoffgewinnung aus Althalden oder Recycling. „Idealerweise, so meine Wunschvorstellung, würden wir alle Materialien, die wir einmal zu einem Produkt wie einem

Smartphone verwendet haben auch wieder herausholen können, um es zu einem neuen, moderneren Produkt entwickeln zu können“, sagt er. Warum das noch Utopie ist und welche weiteren großen Ziele er verfolgt, darüber spricht Martin Rudolph in Folge 163 des Resonator-Podcasts. ◆

Agata Tuzimek



AUDIO

Mehr Wissenschaft auf die Ohren gibt es hier:
→ www.helmholtz.de/resonator-163

DER KRIMI VON BOKNIS ECK

In der Eckernförder Bucht steht in 14,5 Metern Tiefe eine Unterwasserstation des GEOMAR und sendet jahrelang zuverlässig Daten in Echtzeit zum Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung nach Kiel. Doch plötzlich fehlt von ihr jede Spur – und Forscher, Spezialtaucher und Kriminalpolizei stehen vor einem Rätsel.

Es war kein stürmischer Tag, als das Herzstück von Boknis Eck verschwand. Es gab kein Marineschiff weit und breit, weder über noch unter Wasser. Kein Fischerboot fuhr durchs Sperrgebiet an der Ostseeküste am Eingang der Eckernförder Bucht, da, wo sich in der letzten Eiszeit vor gut 100.000 Jahren eine Gletscherzunge 17 Kilometer tief ins Land gearbeitet hatte. Es war alles still und leise an jenem sommerlichen 21. August, als das Observatorium um 8.15 Uhr plötzlich aufhörte zu senden.

Boknis Eck ist Forschern aus aller Welt ein Begriff: Seit 1957 werden in der Eckernförder Bucht zwei Kilometer vor der Küste grundlegende Daten über das marine Ökosystem erhoben. Im monatlichen Turnus messen Wissenschaftler des GEOMAR – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel den Salzgehalt, die Temperatur und die Konzentrationen von Sauerstoff, Nährstoffen und Chlorophyll sowie klimarelevante Spurengase wie Lachgas und Methan. Im Jahr 2016 erweiterten die Kieler in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG) ihre alte Messstation um das Unterwasserobservatorium „Boknis-Eck-Knoten“, das seine Ergebnisse per Glasfaserkabel in Echtzeit an eine Landstation sendet; ein wichtiger Schritt, um die Messdaten zu vervollständigen.

**„Nicht etwa die Stecker sind schuld.
Ein Großteil der Station ist weg!“**

„Da hat sich sicher mal wieder eine Verbindung gelockert“, denkt Projektleiter Hermann Bange, als der Kontakt zum Observatorium plötzlich abbricht. Der Professor für Marine Biogeochemie koordiniert seit 2010 die Aktivitäten in Boknis Eck und war verantwortlich für den Aufbau der Station. Er kontaktiert die Forschungstaucher der Universität Kiel, bittet sie, unter Wasser die empfindlichen Verbindungen zu prüfen. Eine Woche später macht sich das Forschungsschiff Littorina

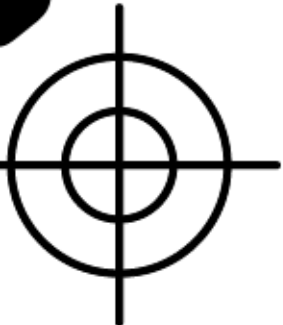
**14,5 M
TIEFE**

**770 KG
GEWICHT**

**300.000 €
WERT**

**20–30 CM
SICHTWEITE**

54°31.2' N, 10°02.5' E



auf den Weg nach 54°31.2' N, 10°02.5' E. Vier Forschungstaucher gehen ins Wasser, sie rechnen damit, die Sensoren zu warten. Doch sie entdecken etwas völlig anderes: „Nicht etwa die Stecker sind schuld“, stellte Roland Friedrich fest, der Ausbildungsleiter des Forschungstauchzentrums an der Kieler Universität: „Ein Großteil der Station ist weg!“ Die Sicht ist hier in fast 15 Metern Tiefe sehr eingeschränkt, nur 20 Zentimeter weit können die Taucher sehen. Sie suchen in der näheren Umgebung. Nichts.

Forscher Hermann Bange kann nicht glauben, was ihm die Taucher fotografisch belegen: Die Kabel sind abgerissen, es fehlen zwei Gestelle des 300.000 Euro teuren Unterwasserobservatoriums. Die zwei verschwundenen Elemente wiegen zusammen 770 Kilogramm, sind mit vielen

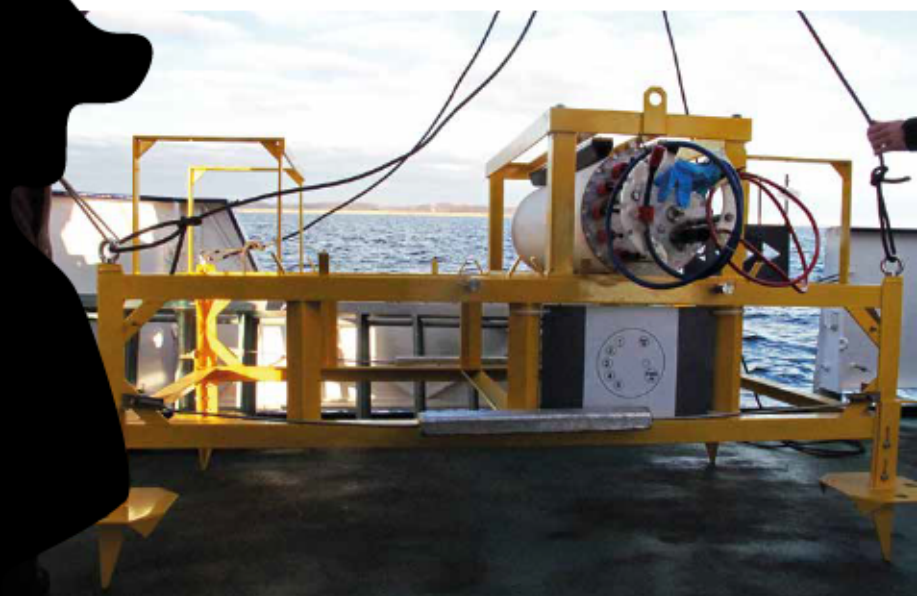
teuren Sensoren ausgestattet. Dass die Station einfach verschwinden könnte, hatten die Forscher nicht für möglich gehalten. Sie war in den Boden eingelassen, fest verankert und so schwer wie ein Kleinwagen.

„Was es bedeutet, dass das Observatorium weg ist, wurde uns ziemlich schnell klar“, sagt Hermann Bange. Er dachte zunächst an die vielen Masterarbeiten, die nun nicht geschrieben werden können. Und dann an die Bedeutung für das große Ganze: „Ein kontinuierliches Messsystem lebt vom kontinuierlichen Messen“, sagt er resigniert. Die Station war Teil des Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas (COSYNA), eines integrierten Beobachtungs- und Modellierungssystems, das den Umweltzustand der Küstengewässer von Nordsee und Arktis beschreibt und vom HZG koordiniert wird. COSYNA beliefert Behörden mit Daten, die bei der Planung von Routineaufgaben wie etwa Küstenschutzmaß-

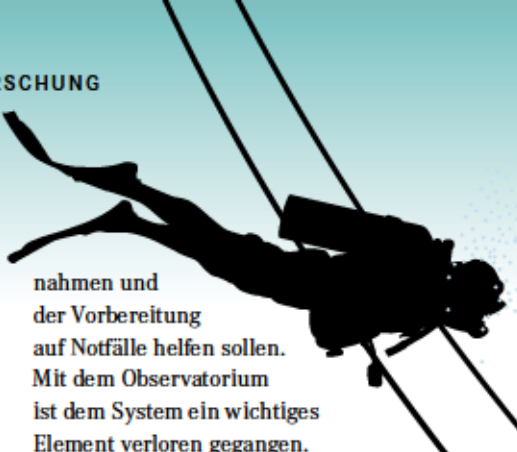


BOKNIS ECK: FORSCHUNG SEIT 1957

Der Name Boknis Eck ist in der Meeresforschung weltbekannt. Seit 1957 werden dort regelmäßig Umweltdaten wie beispielsweise die Temperatur, der Salz- und Nährstoffgehalt sowie Sauerstoff oder Chlorophyll erhoben. Sie lassen Rückschlüsse auf den Zustand des Ökosystems der südwestlichen Ostsee zu. Damit ist die Datenreihe aus Boknis Eck eine der ältesten noch aktiven meereswissenschaftlichen Zeitserien weltweit.



Verschwunden Die Sensoren des Observatoriums bei Boknis Eck lieferten wichtige Daten, um Veränderungen in marinen Ökosystemen zu erkennen.
Bild: Forschungstauchzentrum der CAU

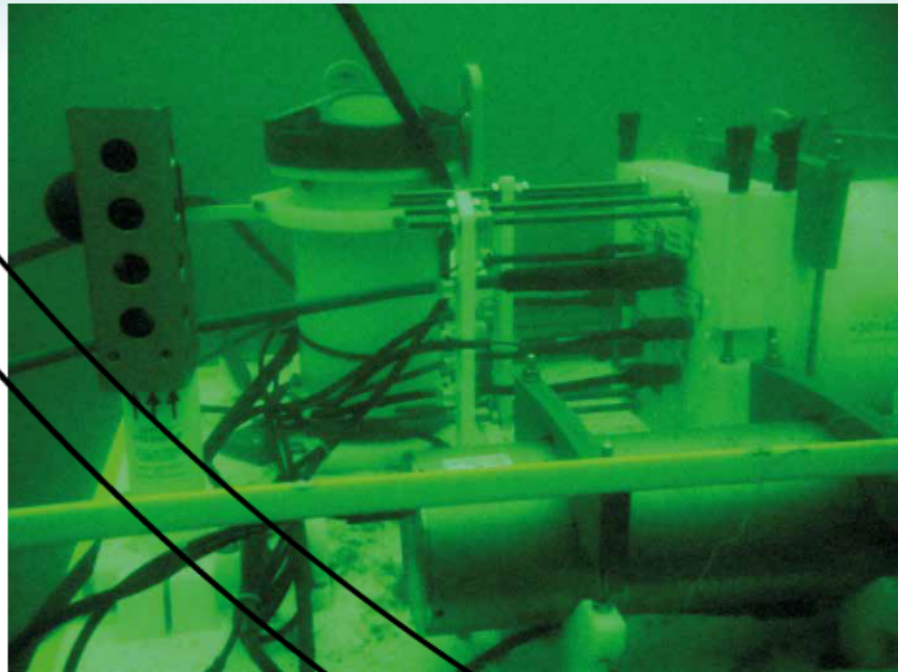


nahmen und der Vorbereitung auf Notfälle helfen sollen. Mit dem Observatorium ist dem System ein wichtiges Element verloren gegangen.

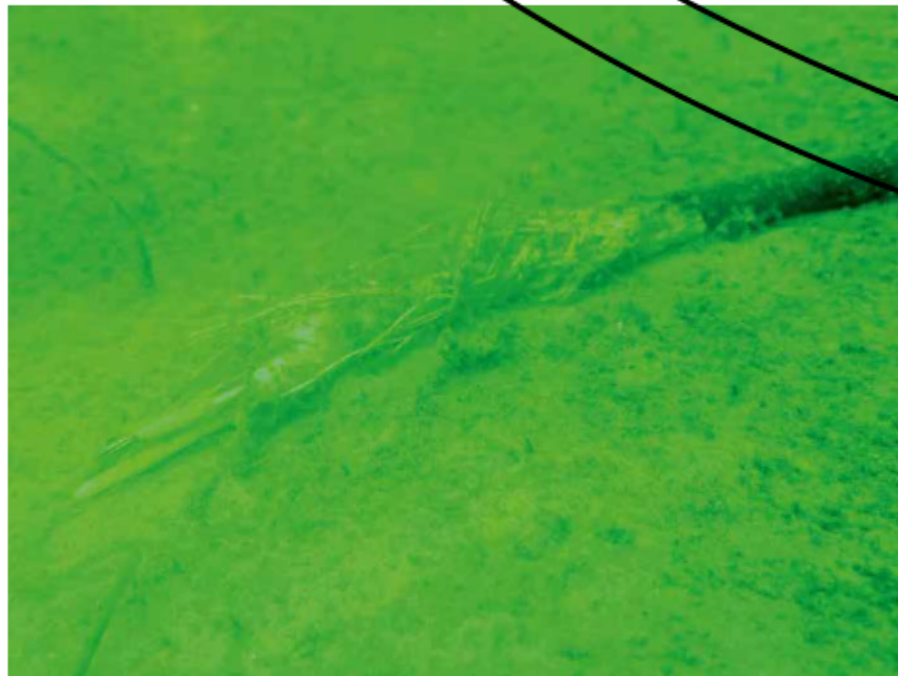
Die Lage von Boknis Eck ist ideal für die Forschung. Hier zeigt sich ein Küstenökosystem unter dem Einfluss ausgeprägter Veränderungen des Salzgehalts und der Sauerstoffarmut, die entsteht, wenn Bakterien organisches Material zersetzen. Das Observatorium war ausgestattet mit modernsten Sensoren. Wie viel Sauerstoff steht Organismen im Meerwasser zur Verfügung? Welche Nährstoffe sind im Wasser gelöst? Wie stark ist das Wachstum von Plankton? Antworten auf diese Fragen lassen Rückschlüsse darauf zu, wie es um das marine Ökosystem bestellt ist. „Die kontinuierlichen Messungen haben die monatliche Zeitserie perfekt ergänzt und wir konnten dank ihnen ganz neue Bezüge zwischen den Daten herstellen“, erklärt Hermann Bange. Untersuchungen hätten gezeigt, dass sich viele Ereignisse mit den monatlichen Messungen nicht erfassen lassen, etwa kurzfristige Hitzeperioden oder einzelne starke Stürme, die Spuren im Ökosystem hinterlassen. Zwei Jahre Planungs- und Bauzeit investierten die Forscher, bevor sie die Station im Dezember 2016 installierten.

„Wir haben alles überprüft – keines unserer U-Boote oder Schiffe war an diesem Tag in der Nähe.“

Kann ein großer Fisch die Gestelle mitgerissen haben? Ausgeschlossen, viel zu schwer. Extreme Strömungen scheiden auch aus. Ebenso Sturm – es war sommerliches, ruhiges Wetter, und schwere Stürme hatte das Observatorium bisher ohne Schäden überstanden. Also Diebstahl? Die Wissenschaftler erstatten Anzeige, bitten die Wasserschutzpolizei um Unterstützung, die Kriminalpolizei beginnt mit Ermittlungen. Zeitungsberichte erscheinen, die Bevölkerung wird um Hilfe gebeten: Wer hat gesehen, dass Schiffe im Sperrgebiet unterwegs waren? Zwei Kilometer entfernt an Land liegt ein Campingplatz, der mit seinem schönen



Zuvor Anfang 2017 wurde der Boknis-Eck-Knoten installiert, um permanente grundlegende Messwerte zu erfassen. Bild: Forschungstauchzentrum der CAU



Danach Das zerfaserte Landanschlusskabel war alles, was die Forschungstaucher vom Unterwasserobservatorium noch finden konnten. Bild: Forschungstauchzentrum der CAU

FISCH SCHLEPPNETZ SPURSTRÖMUNG U-BOOT STRÖMUNG

Meeresblick wirbt. Aber keiner hat an diesem Morgen auf dem Meer etwas Verdächtiges erblickt.

Die Polizei tappt im Dunkeln: „Es gibt bislang keine Fundstücke“, bemerkt Sönke Hinrichs von der zuständigen Polizeidirektion Neumünster. Nichts, was Hinweise auf den Verbleib gibt. „Die Ermittlungen ergaben bisher keine näheren Verdachtsmomente.“ Die Marine betreibt in der Eckernförder Bucht eine Torpedoschießbahn. Auch das 1. Ubootgeschwader sowie Flottendienstboote sind dort stationiert. Könnte also ein Schiff oder gar ein U-Boot der Marine die Station aus Versehen gerammt und mitgeschleift haben? Hauptbootmann Maria Hagemann, Sprecherin der Deutschen Marine: „Wir haben alles überprüft – keines unserer U-Boote oder Schiffe war an diesem Tag in der Nähe.“

„Der Boknis-Eck-Datensatz war auch international sehr gefragt. Es ist eine Schande, dass er nun eine so lange Lücke haben wird.“

Laut Schiffsbewegungsdaten war überhaupt kein Schiff zum fraglichen Zeitpunkt bei Boknis Eck unterwegs. Erhoben werden diese Daten auf dem Meer mit dem AIS-System (Automatic Identification System). Will sich ein Kapitän aber nicht entdecken lassen, kann er

den Sender, den es in jedem Schiff ab einer Länge von 20 Meter geben muss, auch einfach ausschalten und wäre damit quasi unsichtbar. Des Rätsels Lösung soll ein Schleppnetzfisher sein, der heimlich und verbotenerweise im Sperrgebiet gefischt hat. Schleppnetze bestehen aus trichterförmigen Säcken, die Schwarmfische wie Heringe, Kabeljau, Seelachs, Sprotten und Makrelen einsammeln. Grundsleppnetze werden sogar über den Boden gezogen, um dort mit schweren Ketten den Meeresboden aufzuwühlen und Plattfische aufzuscheuchen.

Die Netze sind mitunter bis zu 1,5 Kilometer lang. Schleppnetzfisher sind in der Kritik, weil sie mit moderner Ortungstechnik wie Echolot Fischschwärme gezielt orten, Meere systematisch leer fischen und dabei große Mengen an Beifang in Kauf nehmen – ein Unterwasserobservatorium würde da zunächst gar nicht auffallen.

Hermann Bange trauert vor allem um die Daten. „Der Boknis-Eck-Datensatz war auch international sehr gefragt“, sagt er, „und es ist eine Schande, dass er nun eine so lange Lücke haben wird.“ Der kleine Teil des Observatoriums, der unversehrt geblieben ist, ist mit Sensoren zu Fluoreszenz und Chlorophyll ausgestattet und könnte demnächst wieder angeschlossen werden – sofern das Kabel keinen zu großen Schaden genommen hat. Je länger es allerdings offen auf dem Meeresboden liegt, desto unwahrscheinlicher wird das. „Der Aufwand, das Kabel neu zu legen, ist enorm“, bekräftigt Hermann Bange. „Die ganze Station neu zu bauen, wird etwa ein Jahr dauern. Wir können nur hoffen, dass die Versicherung einen großen Teil der Kosten übernimmt.“

Das Taucherteam der Universität Kiel hat kürzlich von einem Forschungsschiff aus den Meeresboden mit Multibeam-Echolot abgesucht. Dieses hochauflösende Sonar zeigt die Bodenstruktur am Meeresgrund – und offenbarte eine 360 Meter lange Schleifspur. So konnten die Taucher zwei Gebiete eingrenzen, in denen die Reste der Mess-

station vielleicht liegen. Seine letzte Hoffnung setzt Hermann Bange also auf die nächsten Tauchgänge. Die Sicht allerdings macht Tauchlehrer Roland Friedrich Sorgen: „Wenn Sie nur 20 bis 30 Zentimeter Sicht haben, ist sogar ein Radius von 10 oder 20 Quadratmetern riesig, wenn Sie ihn absuchen müssen.“ Für Hermann Bange aber liegt in diesem Radius große Hoffnung. ◆

Isabell Spilker



KI muss gerechter werden

Künstliche Intelligenz (KI) soll uns das Leben vereinfachen und Entscheidungen abnehmen. Doch auf KI-basierende Systeme können bestimmte Menschen diskriminieren, wenn sie nicht mit ausgewogenen Daten gefüttert werden. *Ein Kommentar der Informatikprofessorin Sanaz Mostaghim.*

Die Software akzeptiert das Passbild nicht, weil sie die Augen der abgebildeten Person als geschlossen interpretiert – dabei ist der Antragsteller in der Passbehörde einfach nur ein Asiate. Und das autonom fahrende Fahrzeug erkennt hellhäutige Fußgänger wesentlich zuverlässiger als potenzielle Hindernisse als Menschen mit dunklerer Hautfarbe – das zeigte Anfang des Jahres eine wissenschaftliche Studie des Georgia Institute of Technology. Die hier eingesetzten – vermeintlich smarten – Technologien zur Gesichts- und Personenerkennung sind ein gutes Beispiel für das Diskriminierungspotenzial, das in künstlicher Intelligenz (KI) steckt. Denn KI beruht auf Algorithmen und Datenmengen, und die sind ziemlich komplex und sehr umfangreich, aber per se deshalb noch lange nicht gerecht. KI kann, wenngleich ungewollt, systematisch diskriminieren, wenn wir sie nur mit Daten einer bestimmten Bevölkerungsgruppe trainieren.

Wie wichtig die Qualität des Daten-Inputs auch nach dem Start eines Produkts ist, zeigen Chatbots, die uns heute vielfach online begegnen. Das Modell Tay von Microsoft musste bereits nach kurzer Zeit abgeschaltet werden: Der Bot sollte von jungen Menschen im Netz lernen, wie sie untereinander kommunizieren. Doch bereits nach kürzester Zeit waren seine Antworten hochgradig diskriminierend. Eine Gruppe von Usern hatte ihm als Test bewusst Hass, Sexismus und Antisemitismus antrainiert. KI, ein willen- und verantwortungsloses, beliebig manipulierbares Wesen?

KI leistet heute in vielen Bereichen wertvolle Dienste, keine Frage. Aber sie basiert auf menschengemachten Rechenvorschriften, inklusive aller Irrtümer und Ungerechtigkeiten, Fehler und Vorurteile. Dessen müssen wir uns bewusst sein. Vertrauen in KI wird, kann und darf nur entstehen und wachsen, wenn nicht nur unsere Maschinen, sondern auch wir selbst kontinuierlich dazulernen und mit menschlicher Intelligenz dafür sorgen, dass sie gemäß unseren Wertvorstellungen entscheidet.

Um neutralere Produkte, Technologien und Dienstleistungen zu entwickeln, brauchen wir deshalb zum einen eine kompetente Kontrollinstanz, die unabhängig und demokratisch legitimiert ist. Ihre Aufgabe wäre es, die Trainingsdaten, Algorithmen und Entscheidungen von KI-Systemen kontinuierlich zu überprüfen – vor und während der Anwendung. Das von der Bundesregierung geplante KI-Observatorium ist hier ein erster Schritt in die richtige Richtung. Zweitens brauchen wir klare



Sanaz Mostaghim ist Informatikprofessorin an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Zudem ist sie Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der Convention „KI & Wir“, die im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2019 „Künstliche Intelligenz“ vom BMBF gefördert wurde und Ende November in Magdeburg stattfand.

Verantwortlichkeiten: Wer durch KI diskriminiert wird, darf damit nicht alleingelassen werden – auch wenn sie oder er nicht über Fachwissen verfügt. Es muss eine Stelle geben, bei der man sein Recht einklagen kann, ohne den finanziellen Ruin zu riskieren, und es muss öffentlich bekannt sein, wer für Schäden geradesteht, die durch KI verursacht wird.

Drittens ist es erforderlich, dass mehr Vielfalt in unseren technischen Fakultäten ermöglicht wird: Die Studierenden von heute sind die KI-Architektinnen und -Architekten von morgen. Nahezu 90 Prozent der Software-Entwickler sind männlich. In der KI erreicht der Anteil weiblicher Fachkräfte in Deutschland lediglich 16 Prozent – und der Prozentsatz weiblicher Lehrstuhlinhaber sinkt stetig. Auch in meiner Fakultät zeigt sich das: Unter den jüngsten fünf Berufungen zum Professor war keine Frau vertreten. Diese fehlende Vielfalt kann Auswirkungen auf die entwickelten Produkte haben. Nur wenn wir frühzeitig vielfältige Talente in der Informatik fördern, wenn wir mehr Professorinnen und weibliche Führungskräfte als Vorbilder haben, nur wenn wir verstärkt unsere Denkmuster hinterfragen, kann ein kultureller Wandel geschehen. Nur dann kann KI gerechter werden. ◆

NACHGEFRAGT:

„WIE VIEL
CO₂ STECKT IN
EINEM LITER
BENZIN?“



Unlogisch? Verbraucht ein Auto einen Liter Sprit, ist das ausgestoßene CO₂ schwerer als das getankte Benzin. Bild: Shutterstock/Jarhe Photography

Bei jeder Fahrt stoßen Autos Kohlendioxid (CO₂) aus dem Auspuff. Erstaunlicherweise wiegt dieses CO₂ mehr als der ursprünglich getankte Sprit. Warum das so ist und wie sich dieser Ausstoß deutlich verringern ließe, erklärt Jörg Sauer vom Institut für Katalyseforschung und -technologie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

„ Wenn ein Fahrzeug einen Liter Benzin verbraucht, stößt es etwa 2,37 Kilogramm CO₂ aus. Wurde Diesel getankt, sind es 2,65 Kilogramm CO₂. Das scheint vielleicht verwirrend, doch letztlich geht alles auf die Chemie zurück. Benzin ist ein Gemisch und besteht aus vielen Kohlenwasserstoffketten. Beim Fahren wird das Benzin im Motor verbrannt und der Kohlenstoff (C) reagiert mit dem Sauerstoff (O₂) aus der Luft. Jeweils ein Atom verbindet sich mit jeweils zwei Sauerstoffatomen zu einem Kohlendioxidmolekül (CO₂). Vereinfacht gesagt, werden leichte Wasserstoffatome (Atommasse 1) aus den Kohlenwasserstoffen gegen schwerere Sauerstoffatome (Atommasse 16) ausgetauscht. Die Wasserstoffatome (H) wiederum verbinden sich mit Sauerstoff zu Wasser (H₂O). Auch der unterschiedliche CO₂-Ausstoß von Benzin und Diesel erklärt sich durch die Chemie:

In Benzin ist etwas weniger Kohlenstoff enthalten als in Diesel, und so bindet es weniger Sauerstoff.

Um den CO₂-Ausstoß deutlich zu reduzieren, brauchen wir ganz neue, moderne Kraftstoffe, die wir aus nachwachsenden, also idealerweise CO₂-neutralen Rohstoffen statt Erdöl gewinnen. Daran arbeiten wir. Zum Beispiel lassen wir Biomasseabfälle unter Luftmangel verbrennen. Innerhalb von Bruchteilen von Sekunden entsteht dabei ein Synthesegas. Es gilt dann, das Gas zu reinigen, um es in Kraftstoff umwandeln zu können. Lange Zeit waren diese Schritte – besonders die Erzeugung und Reinigung – eine große Herausforderung. Mittlerweile beherrschen wir die nötige Technik dazu. Nun wollen wir in die Produktion gehen und arbeiten mit Partnern im Projekt reFuels an Konzepten für geeignete Anlagen. Ziel ist es, den neuen Kraftstoff an dem bestehenden Tankstellennetz tanken zu können. Mit ihm ließe sich der CO₂-Ausstoß beim Autofahren rechnerisch um das Sechs- bis Zehnfache reduzieren, da der aus Biomasseabfällen genutzte Kohlenstoff ursprünglich von den Pflanzen als CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen wurde.“

Nachgefragt hat **Kristine August**



ONLINE

Alle Ausgaben von
Nachgefragt:

→ [www.helmholtz.de/
nachgefragt](http://www.helmholtz.de/nachgefragt)



Das Rad neu erfinden

Trotz ehrgeiziger Ziele ist der Ausbau von Windkraftanlagen ins Stocken geraten – die Hürden sind groß. Doch Forscher arbeiten daran, Windräder künftig umweltfreundlicher, leiser, effizienter und widerstandsfähiger zu machen.

Am Anfang ist in Braunschweig die Stille: Der aero-akustische Windkanal am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist wie ein O geformt und nur im Messbereich für die Experimentenbestückung offen. Die Forscher vom Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik können durch ihn einen besonders geräuscharmen Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von bis zu 90 Metern pro Sekunde schicken. So lässt sich vermessen, wo aerodynamisch erzeugter Schall entsteht und wohin er abstrahlt. Das ist bei der Entwicklung großer Transportflugzeuge ebenso wichtig wie bei Windrädern. Auch sie sollen möglichst geräuschlos arbeiten – ein wichtiger Faktor in Zeiten, in denen die Windkraft mehr denn je benötigt wird.

Welche enormen Kräfte diese Technologie schon bislang nutzbar machen kann, belegen eindrucksvolle Zahlen: 1995 produzierten Wind-

energieanlagen in Deutschland 1,5 Terawattstunden Strom, Ende 2018 waren es bereits 113,3 Terawattstunden – und da sind die Offshore-Anlagen in Nord- und Ostsee noch gar nicht eingerechnet. Damit stellt Windkraft den zweitgrößten Anteil an der Stromproduktion und liegt weit vor den anderen erneuerbaren Energiequellen in Deutschland. Zuletzt aber gab es einen massiven Rückgang: Mit nur 2.402 Megawatt beziehungsweise 743 Anlagen im Jahr 2018 hat sich der Neubau von Onshore-Windanlagen gegenüber dem Vorjahr halbiert.

„Verantwortlich für den Einbruch des Ausbaus sind hauptsächlich fehlende Genehmigungen für Windparks“, sagt Paul Lehmann. Ursache dafür sei – neben neuen Vergütungsregeln (siehe Kasten) – „insbesondere die zu geringe Ausweisung von Ausbau- und Potenzialflächen für Windenergie sowie ein massiver Genehmigungsstau“. Paul Lehmann ist Wirtschaftswissenschaftler

und leitet am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ und der Universität Leipzig die Forschungsgruppe „Politikstrategien zur Bewältigung ökologischer Zielkonflikte bei der Energiewende“: Wenn etwa Vögel und Insekten aufgrund von Windrädern beeinträchtigt werden oder gar sterben, widerspricht das dem Ziel, Energie umweltschonend zu erzeugen. Zielkonflikte sind bei althergebrachten Erzeugungsmethoden zwar deutlich größer als bei erneuerbaren Energien – Atomkraft birgt erhebliche Risiken, für Braunkohle werden ganze Landstriche umpflügt und bei der Verbrennung werden Unmengen CO₂ in die Atmosphäre geschleudert. „Doch auch die vergleichbar kleineren Konflikte bei den Erneuerbaren müssen wir ernst nehmen, damit sich neue Technologien etablieren können und die Energiewende gelingt“, betont Paul Lehmann. Sein Team erstellt Kriterien, um die Erneuerbaren ökologisch und ökonomisch sinnvoll auszubauen, und entwirft politische Instrumente, um Konflikte zu minimieren.

Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit sollen der Gesetzgebung Orientierung bieten – auf regionaler, nationaler wie auch europäischer

Ebene. „Wir brauchen einen Mix an erneuerbaren Technologien, bei dem die Windenergie eine wesentliche Rolle spielt“, so Paul Lehmann, „und dafür eine intelligente räumliche Steuerung der Windenergie.“

Diese räumlich-zeitliche Entwicklung und Steuerung haben die Wissenschaftler des UFZ-Departments Bioenergie im Blick. Sie kartieren, wo bereits Anlagen stehen, und erforschen, wo sich der Bau neuer empfiehlt. Das Ergebnis ist eine detaillierte Deutschlandkarte. „Wir identifizieren Standorte, die sich ökonomisch rechnen, wo also regelmäßig starker Wind weht“, sagt die Leiterin des Departments Daniela Thrän. Auch die Entfernung zu jenen Regionen, in denen Strom verbraucht wird, spiele eine Rolle. „Zudem berücksichtigen wir auch, wie sich Windkraftanlagen auf Natur und Landschaft auswirken.“ Letzteres ist komplex, denn die Windkraft ist neben Flächenversiegelung und -zerschneidung, etwa durch Autobahnen, nur ein Faktor. „Was davon sich wie auf Vögel, Fledermäuse und Insekten auswirkt, ist nicht immer eindeutig auszumachen“, →



ONLINE

Was es kostet, unser Energiesystem bis 2050 entsprechend der Pariser Klimaschutzziele umzubauen:

→ [helmholtz.de/kosten-energiewende](https://www.helmholtz.de/kosten-energiewende)



VERGÜTUNG DER WINDENERGIE

Bis zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2017 wurden Windanlagenbetreibern je nach Standort pro in das Stromnetz eingespeiste Kilowattstunde zwischen sechs und neun Cent garantiert. Ab 2021 ändert sich dies: Die Besitzer alter Anlagen müssen ihren Strom dann zu marktüblichen Preisen verkaufen und bekommen voraussichtlich nur noch zwei bis vier Cent pro Kilowattstunde. Seit dem EEG 2017 wird zudem die Vergütung neuer Anlagen im Regelfall in Ausschreibungen wettbewerblich ermittelt. Einen Zuschlag erhalten nur diejenigen, die die Kilowattstunde Strom zum geringsten Preis anbieten. Das verursacht ein Preisverfall für Windstrom und macht den Bau neuer Windparks zu einem schwer kalkulierbaren Risiko – vor allem für kleine Unternehmen und Gemeinden.

Quelle: www.fachagentur-windenergie.de/themen/eeeg.html





so Daniela Thrän. „Feststellen konnten wir jedoch, dass die bestehenden Anlagen genügend Abstand zu Naturschutzgebieten haben.“

Erste Windräder können die Ultraschallsignale von Fledermäusen erkennen und schalten sich ab, wenn sie in der Nähe sind. Dies wird in den USA getestet. In Deutschland gibt es Turbinen mit Abschaltmechanismen auf der Basis der Witterung. Fledermäuse fliegen nicht mehr, wenn es zu kalt oder zu windig ist, besonders groß ist dagegen die Kollisionswahrscheinlichkeit in lauen Nächten mit geringen Windgeschwindigkeiten. In solchen Fällen können Anlagen abgeschaltet werden. Die optische Erkennung von Vögeln ist bislang allerdings noch nicht ausgereift.

„Speziell in den für uns Menschen nicht hörbaren Bereichen, etwa Infraschall, gibt es kaum belastbare Zahlen über die langfristigen Effekte auf Ökosysteme.“

„Wenn Tiere sich am Boden oder fliegend in nächster Nähe zum Fundament, dem Rotor oder auch der Kanzel mit dem Generator aufhalten, können sie erheblichen Schalldruckpegeln, Vibrationen sowie Druckunterschieden ausgesetzt sein, die zu Stress führen“, erläutert Biologe Reinhard Klenke, der darüber am UFZ forscht. „Speziell in den für uns Menschen nicht hörbaren Bereichen, etwa Infraschall, gibt es kaum belastbare Zahlen über die langfristigen Effekte auf Ökosysteme.“ In den Fokus rücken außerdem die Insekten: „Es gibt ernst zu nehmende Beobachtungen, dass Windräder auch Fluginsekten erheblich beeinflussen“, sagt Josef Settele. Der Agrarökologe forscht am UFZ zum Schutz von Insekten, Biodiversität und Landnutzung. Windschlag spiele beim Schwinden von Insekten zwar wahrscheinlich nur eine unter-

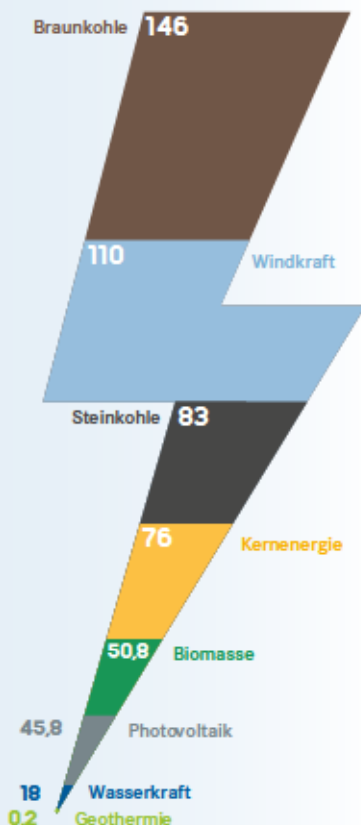
geordnete Rolle. „Dennoch ist es wichtig, hierzu künftig belastbare Studien zu erstellen.“

Die Forscher arbeiten aber nicht nur an der besseren Umweltverträglichkeit der Windkraftanlagen, sondern auch an ihrer besseren Effizienz. Wissenschaftler am DLR ziehen deshalb Erkenntnisse aus der Luftfahrt heran und übertragen sie auf die Windkrafttechnologie – etwa, wenn es um die Lärmschutzuntersuchungen im Windkanal geht. Sie setzen aber auch an anderen Stellen an: Theoretisch kann ein Windrad 8.760 Stunden im Jahr unter Volllast Strom produzieren. „Selbst unter optimalen Bedingungen auf hoher See wird dort selten eine Volllastkapazität von mehr als 4.500 Stunden erreicht“, sagt Jan Teßmer, Koordinator der Windenergieforschung am DLR. „So arbeiten wir unter anderem daran, dass Anlagen bei schwachem Wind noch viel Energie ernten und andererseits bei starkem Sturm nicht abgeschaltet werden müssen, also den hohen Input nutzen können.“

Ein wichtiger Faktor hierbei ist, wie Rotorblätter sich durch Wind verformen. Um das zu messen, haben die Forscher 300 Beschleunigungs- und 200 Dehnungssensoren direkt an einzelnen Rotorblättern angebracht. Mit dem Projekt „Smart Blades“ konnten sie eine neue Konstruktion entwickeln: Bei Wind biegt sich das Blatt nicht nur nach hinten, sondern rotiert dabei in sich, kann seine Geometrie also selbstständig an die Windverhältnisse anpassen. Dadurch bietet es dem

STROMPRODUKTION 2018 IN DEUTSCHLAND

(gemessen in TWh)



Beschwingt Mit den Schwingungsteils lassen sich Verformungen millimetergenau aufnehmen. Dabei kommen rund 500 Sensoren am Rotorblatt zum Einsatz. Bild: DLR (CC-BY 3.0)

Wind bei höheren Geschwindigkeiten weniger Angriffsfläche. Bei einer anderen Variante arbeiten die Forscher mit einem beweglichen Vorflügel am Rotorblatt, ähnlich den Landeklappen an den Flügeln eines Jets.

„Der Klimawandel wird sich auch auf das Windaufkommen in Europa auswirken.“

Fest steht: Windenergieanlagen sind härtesten Bedingungen ausgesetzt, sollen aber 20 Jahre reibungslos betrieben werden, damit sie sich rechnen. „Es gibt kaum industrielle Bauteile, die so belastet werden“, sagt Andreas Reuter, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme (IWES). „In unserem Institut werden die Anlagen und einzelne Komponenten innerhalb weniger Monate mit den Lasten eines ganzen Windenergielebens getestet, sodass man davon ausgehen kann, dass auch langfristig alles rundläuft.“

Die Herausforderung für die Wissenschaftler ist es, mit der rasanten Entwicklung von immer größeren und leistungsfähigeren Anlagen Schritt zu halten. Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „HighRe“ vermessen sie deshalb die aerodynamischen Eigenschaften einer Windenergieanlage in Bremerhaven mit einem Rotordurchmesser von 180 Metern. Diese Messdaten vergleichen sie mit den Ergebnissen ihrer aufwendigen Modellierungen, die sie im Vorfeld

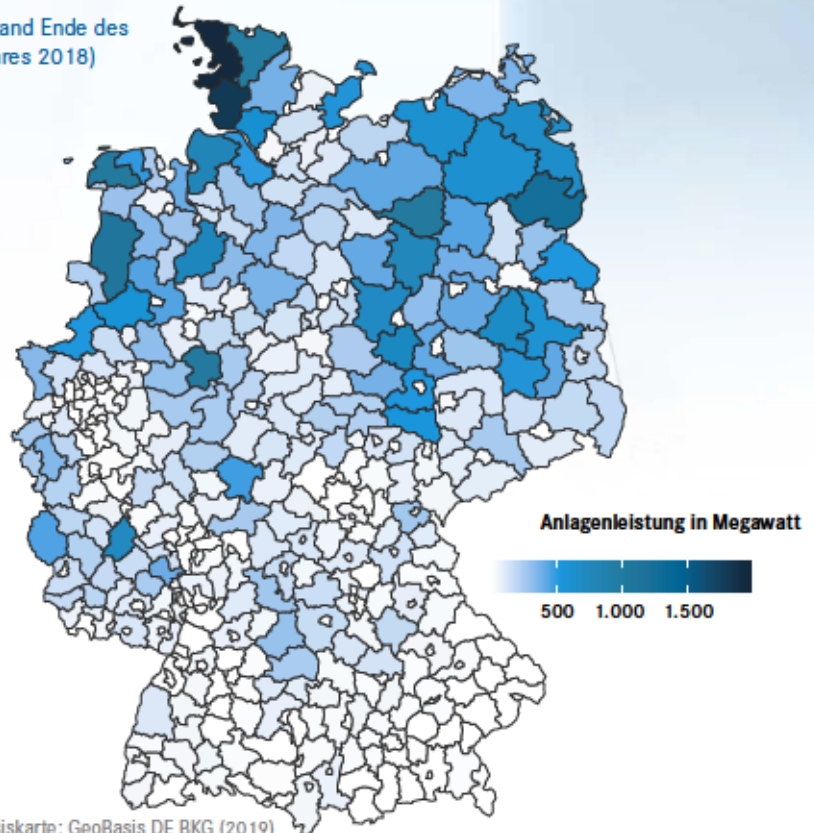
erstellen. „Dies ermöglicht erstmals eine Untersuchung, ob wir die bisherigen Modellberechnungen auch für die wesentlich größeren Offshore-Windenergieanlagen einsetzen können, die künftig gebaut werden sollen“, sagt Andreas Reuter.

Modellberechnungen anderer Art hat ein Team am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) erstellt: „Der Klimawandel wird sich auch auf das Windaufkommen in Europa auswirken“, sagt Julia Mömken, Forscherin in der Arbeitsgruppe Regionales Klima und Wettergefahren. „Für Deutschland, Frankreich und die Iberische Halbinsel etwa sind eher nachteilige Auswirkungen zu befürchten, häufiger Flauten und andererseits stärkere jahreszeitliche Schwankungen.“ Alles in allem sehen die Forscher in den vorhergesagten Änderungen große Herausforderungen für die Windenergienutzung in Europa. Auch die Forschung zur Windkraft, das steht heute schon fest, wird durch den Klimawandel neu gefordert.

Lars Kluaßen

INSTALLIERTE ANLAGENLEISTUNG DER WINDENERGIE JE LANDKREIS

(Stand Ende des Jahres 2018)



HOCHGESTECKTE ZIELE
 Das EEG sieht folgende Anteile der Erneuerbaren am Strommix vor:
40–45 % bis zum Jahr **2025**
55–60 % bis zum Jahr **2035**
 mind. **80 %** bis zum Jahr **2050**



Sollten Wissenschaftler politischer werden?

Forscher haben sich in letzter Zeit so stark politisch geäußert wie lange nicht – vor allem zum Thema Klimawandel. Doch sollten sich Wissenschaftler so vehement in politische Debatten einmischen? Oder sollten sie rein ihre Forschungsergebnisse für sich sprechen lassen? Zwei Blickwinkel.



Martina Schäfer ist wissenschaftliche Geschäftsführerin des Zentrums Technik und Gesellschaft der Technischen Universität Berlin.

„Nur Wissenschaft kann dazu beitragen, Menschen mit Entscheidungsbefugnissen mutiges Handeln unter Unsicherheit zu erleichtern.“

Manche Wissenschaftlerin und mancher Wissenschaftler reißt sich in den vergangenen Monaten ungläubig die Augen, wie sehr der Wert ihrer Expertise durch die von Fridays for Future angestoßenen Debatten angestiegen ist. Dabei liegen die Fakten zur Dringlichkeit und dem Ausmaß der Klimakrise größtenteils seit vielen Jahren vor. Dies zeigt, dass die bisher praktizierten Formen der Wissenschaftskommunikation häufig noch nicht griffig genug sind.

Mir erscheint es deshalb nötig, dass sich die Wissenschaft mit ihrer Expertise vermehrt in öffentliche Debatten einbringt – allein schon, um polarisierte Debatten zu versachlichen und mögliche Lösungsstrategien auf ihren Gehalt zu überprüfen. Damit ist allerdings das Risiko verbunden, dass die eigene Position in den Medien stark zugespitzt und manchmal sogar verzerrt wiedergegeben wird.

Aus meiner Sicht ist die Wissenschaft noch mehr als bisher gefragt, ihre Ergebnisse so aufzubereiten, dass sie von gesellschaftlichen Akteuren aufgegriffen werden können – sei es von der Politik, sei es von Unternehmen oder Verwaltungen. Damit das gelingt, müssen sich Forscherinnen und Forscher damit vertraut machen, wie sie ihre jeweilige Zielgruppe erreichen können. Denn fest

steht: Die Entscheidungswege und die Art, sich zu informieren, sind in Politik und Verwaltung völlig anders als in der Wirtschaft – und als in der Wissenschaft selbst, deren Routinen die Forscherinnen und Forscher von Beginn an kennen. Damit sie sich in die anderen Kommunikationsarten und -wege einarbeiten können, bedarf es der professionellen Unterstützung durch die Abteilungen für Transfer und Öffentlichkeitsarbeit, die es an fast jeder wissenschaftlichen Einrichtung gibt.

Missverständnisse und Verzerrungen lassen sich so nicht verhindern, da mache ich mir keine Illusionen. Ich bin mir aber sicher: Die weit größere Gefahr bei der Bearbeitung der derzeit drängenden und komplexen Problemlagen dieser Welt besteht darin, wissenschaftliche Sachverhalte in öffentlichen Debatten und bei weitreichenden Entscheidungen gar nicht zur Kenntnis zu nehmen. Wissenschaft – und nur Wissenschaft – kann dazu beitragen, Menschen mit Entscheidungsbefugnissen mutiges Handeln unter Unsicherheit zu erleichtern. Das ist es wert, als Wissenschaftlerin oder Wissenschaftler die Risiken einzugehen, die damit verbunden sind, sich in öffentliche Debatten einzumischen! ◆



„Ich möchte nicht in einer Szientokratie leben, in der allein wissenschaftliche Argumente zählen.“

Wenn ich in die Humboldt-Universität komme, sehe ich das Karl-Marx-Zitat: „Die Philosophen haben die Welt nur verschieden interpretiert, es kommt aber darauf an, sie zu verändern.“ Als Bürger stimme ich ihm zu – wir sollten die Welt zum Besseren hin verändern –, auch wenn wir wohl erst diskutieren müssten, ob wir ein gemeinsames Verständnis einer „besseren Welt“ fänden. Als Wissenschaftler aber widerspreche ich ihm, denn Marx spricht als Aktivist mit einem politischen Ziel. Forschung jedoch muss frei sein.

Natürlich bewegt sich Forschung in einem gesellschaftspolitischen Rahmen und steht in der Pflicht, vor drohenden Gefahren zu warnen. Der Klimawandel ist ebenso real, wie es die planetaren Grenzen sind: Unsere natürlichen Ressourcen sind endlich, und die Aufnahmekapazität der Böden, der Ozeane und der Atmosphäre – etwa für Nitrat oder für Kohlendioxid – ist dann erschöpft, wenn Ökosysteme und die Gesundheit von Menschen bedroht sind. Hier ist die Wissenschaft gefordert, Diagnosen zu liefern und möglichst auch Optionen für Lösungen aufzuzeigen. Doch ich möchte nicht in einer Szientokratie leben, in der allein wissenschaftliche Argumente zählen. Politik muss auf wissenschaftlich fundierter Basis entschei-

den, ja – aber sie muss weitere Faktoren bei ihrer Entscheidungsfindung berücksichtigen, zum Beispiel Gerechtigkeit, soziale Sicherheit und Durchsetzbarkeit. Das Beispiel Kernenergie zeigt: Die Franzosen haben keine anderen wissenschaftlichen Fakten als wir, aber gesellschaftspolitisch eine völlig andere Debatte dazu.

Es geht bei der Rollentrennung von Wissenschaft und Politik nicht darum, Forschende davon abzuhalten, sich gesellschaftspolitisch zu engagieren. Im Gegenteil, politisches Engagement und entschiedenes Eintreten gegen Fake News sind heute wichtiger denn je. Nur müssen die jeweiligen Rollen transparent gemacht werden: Agiere ich gerade als Bürger oder als Wissenschaftler? Forschende sollten als ehrliche Makler auftreten und Grenzen des Wissens benennen. Dazu ist der Dialog mit der Öffentlichkeit entscheidend, auch um Fragen der Gesellschaft aufzunehmen. Wissenschaftskommunikation ist hier eine zentrale Aufgabe – aus der Forschung heraus und professionell unterstützt, aber auch kritisch beobachtet durch unabhängigen Journalismus. Denn bei allem Willen zur Transparenz bleibt die Neutralität der Forschung ein Versprechen, das einer externen Überprüfung standhalten muss. ◆



Reinhard Hüttl ist wissenschaftlicher Vorstand und Sprecher des Vorstands am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungs-Zentrum GFZ.



ONLINE

Diskutieren Sie mit uns unter dem folgenden Link:

→ www.helmholtz.de/blickwinkel





Eine Bindung für die Ewigkeit?



Manche Klebstoffe sollen bombenfest halten, andere auf Kommando wieder loslassen: Forscher sind auf der Suche nach dem perfekten Halt – mittels Tricks aus der Chemie und Inspirationen aus der Natur.

Kleben begleitet die Menschheit schon seit grauer Vorzeit. Der erste Universalklebstoff, ein Pech aus Birkenrinde, verlieh Feuersteinklingen an Pfeil und Speer einen sicheren Halt. „Lange bevor Menschen geschraubt, geschweißt oder gelötet haben, klebten sie schon Dinge zusammen“, erzählt Andreas Hartwig. Als Gegenstand von Forschung, Normung und Standardisierung hingegen ist die moderne Klebtechnik noch recht jung.

Andreas Hartwig ist einer von denen, die den Klebstoffen von morgen auf der Spur sind: Der Professor für makromolekulare Chemie leitet die Abteilung Klebstoffe und Polymerchemie am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen. Um das Grundprinzip seines Forschungsbereichs zu erläutern, arbeitet Andreas Hartwig mit zwei Begriffen – Adhäsion und Kohäsion. Die Adhäsion wirkt an der Grenze zwischen Klebstoff und den Materialien, die er zusammenkleben soll, und schafft eine mechanische Verbindung. Die Kohäsion steckt im Klebstoff selbst und beschreibt, wie stark dessen Moleküle zusammenhalten. „Dank Adhäsion hält schon ein dünner Wasserfilm zwei Glasscheiben zusammen“, veranschaulicht Andreas Hartwig. „Doch mit genügend Kraft gegeneinander verschoben, lassen sie sich wieder lösen. Denn flüssiges Wasser hat keine besonders große Kohäsion. Im Eisschrank platziert, härtet unser Klebstoff aber gewissermaßen aus: Das Wasser gefriert und hat jetzt eine sehr viel höhere Kohäsion.“ Die offenen Fragen liegen hingegen im Detail. Zum Beispiel, welche Bindungen und welche Kräfte für den Zusammenhalt sorgen. „Das ist bis heute immer noch nicht vollständig geklärt“, gesteht Andreas Hartwig.

Diese Wissenslücke wollen Klebstoffforscher schließen. Denn Kleben bringt viele Vorteile: Wer klebt, braucht keine Löcher und trägt auch keine übermäßige Wärme in das Material wie etwa beim Schweißen, sodass Struktur und Gefüge erhalten bleiben. Je nach gewähltem Klebstoff hält die

Verbindung bombenfest oder bleibt elastisch. Und Kleben braucht kaum Platz. „Vor allem in modernen Elektrogeräten werden die Verbindungen immer kleiner. Da ist Kleben das Fügeverfahren der Wahl“, erklärt Andreas Hartwig.

Ein Beispiel sind moderne Mobiltelefone. „Smartphones sind geklebt, weil es das schnellste, praktischste und ökonomischste Fügeverfahren für diese Geräte ist“, sagt Christopher Barner-Kowollik, Leiter der Arbeitsgruppe Makromolekulare Architekturen des Instituts für Technische Chemie und Polymerchemie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). „Wenn wir das Smartphone dann auch noch leicht in seine Einzelteile zerlegen und getrennt recyceln könnten, wäre das eine schicke Sache.“ Und genau dieser Aspekt des Klebens treibt ihn an. „Es gibt viele Anwendungen, bei denen sich Klebungen wieder rückstandsfrei lösen lassen müssen“, erklärt der Wissenschaftler, der hauptamtlich an der Queensland University of Technology (QUT) im australischen Brisbane forscht. Für den löslichen →



„Vor allem in modernen Elektrogeräten werden die Verbindungen immer kleiner. Da ist Kleben das Fügeverfahren der Wahl.“



Verbaut Viele Teile in Smartphones sind verklebt, damit Handys leichter und flacher sind. Doch der Austausch von defekten Bauteilen und das Recyceln sind dadurch schwierig.
Bild: Shutterstock/asharkyu



„Das Mobiltelefon soll beim Recycling in seine Einzelteile zerfallen; nicht aber, wenn es im Sommer mal im Auto liegen bleibt.“

Kleber hat er drei Anwendungsgebiete im Blick: das Recycling, das Werkstoffhandling und die Zahnmedizin. Beim Recycling geht es darum, nicht nur Smartphones, sondern auch mehrlagige Lebensmittelverpackungen in ihre Einzelteile zu zerlegen und wiederzuverwenden. Beim Werkstoffhandling werden Materialien in der Fabrik schonend festgehalten, während sie bearbeitet werden. Und in der Zahnmedizin sollen verschlissene Füllungen ohne nerveaufreibendes Bohren entfernt werden können.

„Ein Klebstoff ist ein Netzwerk von Molekülen“, erklärt Christopher Barner-Kowollik. „Sie sind alle durch kovalente Bindungen miteinander verbunden, welche benachbarte Atome durch Elektronenpaare fest verbinden. Um eine Klebung trotzdem zu lösen, muss man nach einer anderen Verbindung suchen.“ Die hat er zusammen mit Kollegen in einem recht alten und unter Chemikern gut bekannten Prozess gefunden: der Diels-Alder-Reaktion, die in den 1920er-Jahren in Kiel entdeckt wurde und heute vor allem bei der künstlichen Herstellung von Naturstoffen wie etwa Hormonen eine wichtige Rolle spielt. Sie erzeugt Bindungen, die sich durch Hitze wieder öffnen lassen. „Damit bauen wir in unserem Molekülnetzwerk Sollbruchstellen ein, die es uns erlauben, das Netzwerk zu schwächen und den Kleber wieder zu lösen.“ Das Ergebnis ist ein thermolabiler Klebstoff. Die nötige Temperatur können die Forscher in recht feinen Schritten einstellen. Das ist auch sehr wichtig. „Das Mobiltelefon soll beim Recycling in seine Einzelteile zerfallen; nicht aber, wenn es im Sommer mal im Auto liegen bleibt. Der Zahnarzt soll die Füllung durch lokales Erhitzen schnell austauschen können. Eine Tasse heißen Kaffees darf diesen Effekt hingegen nicht bewirken“, erläutert der Chemiker.

Dass Christopher Barner-Kowollik immer wieder auf die Zahnmedizin zu sprechen kommt, hat einen Grund. Vor einigen Jahren trat ein Her-

steller von Dentalmaterialien an ihn mit der Idee heran, gemeinsam nach reversiblen Dentalklebern zu suchen. Sie wurden fündig – und zogen damit die Aufmerksamkeit anderer Industriezweige auf sich. Mit ihnen sucht Christopher Barner-Kowollik nun nach konkreten Anwendungen. „Mich fasziniert besonders der Gedanke, der in Australien Circular Economy heißt“, sagt der Wissenschaftler. „Von der Einweggesellschaft wegzukommen und eine zirkuläre Ökonomie aufzubauen, wo das Abfallprodukt eines Prozesses das Startmaterial eines neuen Prozesses ist, finde ich sehr wichtig.“ Da das Auseinandernehmen dafür ein zentraler Teil ist, könnte er mit seiner Technologie einen Beitrag dazu leisten. Ein Knackpunkt indes sind die höheren Kosten für die neuen Klebstoffe. Doch das ist nicht die einzige Herausforderung, vor der die Klebstoffforschung heute steht. „Da wäre auch der Wunsch nach dem gummielastischen Beton, wie ich ihn nenne“, erzählt Andreas Hartwig vom Bremer Fraunhofer-Institut, „einem System, so fest wie Beton und gleichzeitig so elastisch wie Gummi, also einem System mit großer Reißdehnung bei gleichzeitig hohem Festigkeitsniveau.“ Einen Ansatzpunkt, um die hohe Reißdehnung mit hoher Festigkeit zu kombinieren, hat Andreas Hartwig schon parat. „Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Morphologie, also die Struktur der Materialien“, ist er sich sicher.

Und eben diese will Stanislav Gorb an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel ergründen. Dafür schaut der Professor für Funktionelle Morphologie und Biomechanik kleinen Tieren auf die Füße. Von ihnen erhofft er sich Antworten auf die Frage, warum manche Tiere scheinbar mühelos senkrecht und kopfüber auf den verschiedensten Oberflächen vorankommen. Denn einerseits müssen sie dort sicher haften, andererseits ihre Gliedmaßen für den nächsten Schritt auch energiesparend lösen. Zug und Druck wirken



ONLINE

Wie Forscher versuchen, kostbare Rohstoffe aus Elektronik und Glühbirnen zu recyceln:

→ www.helmholtz.de/erde_und_umwelt/auf-elemente-jagd





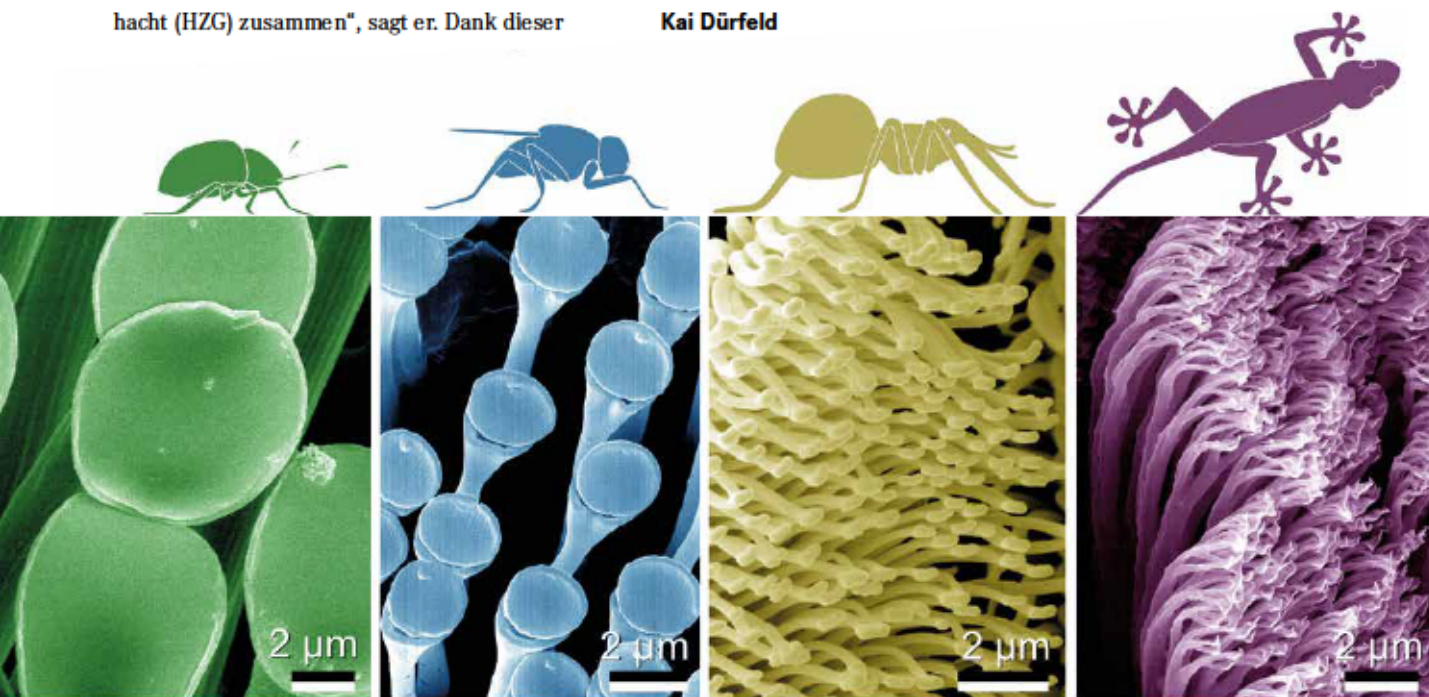
also abwechselnd auf ihre Füßchen und erfordern Festigkeit und Elastizität gleichermaßen.

Wie die Natur für Halt sorgt, beschäftigt den Wissenschaftler bereits seit seinem Studium. „Früher habe ich Mikroklettverschlüsse untersucht, mit denen Käfer ihre eingeklappten Flügel fest verschließen“, erzählt er. „Das war recht trivial. Also wollte ich wissen, wie die Fliege über die Decke laufen kann.“ Auf die Fliege folgte der Gecko, dem Stanislav Gorb sein Geheimnis entlocken und in ein Klebetape verwandeln konnte. Nun hat er sich den Spinnen zugewandt. Die nutzen keine Klebeflüssigkeit wie Fliegen, haben aber etwas größere Strukturen an den Beinchen als ein Gecko. „Spinnenbeine haben Härchen, die wiederum feinere Härchen haben“, erklärt der Biologe. „Und an deren Spitze sitzen nanometerkleine Spachteln.“ Mit den Mikroskopen an ihrem Institut können die Kleber fast alle dieser Strukturen untersuchen. Nur was auf molekularer Ebene geschieht, blieb den Forschern verborgen. „Dafür brauchen wir die Röntgenstreuung, und deshalb arbeiten wir mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) zusammen“, sagt er. Dank dieser

Kooperation ist es den Forschern gelungen, die statische Struktur der Spinnenbeine auf Molekülebene zu entschlüsseln. In einem nächsten Schritt wollen sie jetzt erkunden, was an den Spinnenbeinen geschieht, wenn sie in Bewegung sind. Ein bionisches Haftsystem, mit dem vielleicht irgendwann einmal Roboter die Wände hochklettern, hat Stanislav Gorb dabei nicht im Sinn. „Wir wollen zuallererst einmal die verschiedenen Systeme der Natur bis ins Detail verstehen“, fasst er seine Motivation zusammen. „Denn erst dann können wir auch prüfen, ob sie sich technisch und wirtschaftlich umsetzen lassen.“

Am faszinierendsten für ihn sei, fügt er hinzu, dass die Natur für viele Herausforderungen des Alltags oft nur ein oder zwei Lösungsprinzipien gefunden habe, und das unabhängig voneinander über Artengrenzen hinweg. Diese für das Kleben zu finden, könnte der Fügetechnik ungeahnte Möglichkeiten bieten. ◆

Kai Dürfeld



Gehaftet Das Elektronenmikroskop enthüllt die Feinstrukturen an den Beinenden von Käfern, Fliegen, Spinnen und Geckos. Sie sorgen dafür, dass die Tiere problemlos an Decken oder Wänden entlanglaufen können. Bild: Stanislav Gorb



Jagd nach Trinkwasser unter dem Meer

Marion Jegen ist eine gefragte Spezialistin beim Thema Wasserknappheit: Die Geophysikerin vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel sucht mit Hightech in Küstenregionen nach Süßwasser, das im Meeresboden gespeichert ist – zum Beispiel vor den Küsten Maltas.

Statistiken zu lesen ist das eine. Die Welt hinter diesen Zahlen aber auch kennenzulernen etwas völlig anderes. Marion Jegen jedenfalls war überrascht, als sie auf dem Inselstaat Malta aus dem Flugzeug stieg und vergebens nach dem Urlaubsflair einer lauschigen Mittelmeerinsel suchte. Stattdessen empfing Maltas Hauptstadt Valletta die 53-jährige Geophysikerin vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel mit Baulärm an allen Ecken, mit dichtem Verkehr, einer emsigen Betriebsamkeit und drückender Hitze.

Dies war allerdings auch einer der Gründe für ihre Reise: Malta leidet wegen der Überbevölkerung, des geringen Niederschlags und der intensiven Landwirtschaft unter extremer Wasserarmut. Auf dem Archipel leben 1.325 Menschen pro Quadratkilometer; elfmal mehr als im EU-Durchschnitt. Hinzu kommen pro Jahr rund 1,7 Millionen Touristen, Tendenz steigend. All diese Menschen brauchen einen Schlafplatz, Nahrung – sowie natürlich Wasser zum Trinken, Waschen und Duschen. Die Oberflächen- und Grundwasserreserven des Archipels sind derart erschöpft, dass jedem Bewohner pro Jahr gerade einmal 80 bis 120 Kubikmeter Süßwasser zur Verfügung stehen. Nach Berechnungen der Vereinten Nationen müssten es jedoch mindestens 500 Kubikmeter sein, damit eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet ist. „Maltas Regierung baut deshalb weitere Meerwasserentsalzungsanlagen, um die Trinkwasserversorgung zu sichern“, sagt Marion Jegen. Doch diese Anlagen schaffen ein anderes Problem. Sie benötigen viel Strom, was die Trinkwasserproduktion sehr teuer macht.

Mit ihrem fünfköpfigen Team und der Arbeitsgruppe des maltesischen Geomorphologen Aaron Micallef will die Kieler Forscherin nach einer neuen, bislang unerschlossenen Trinkwasser-

quelle suchen: Sie wollen Gesteinsschichten im Meeresboden aufspüren, die Grundwasser führen. Diese Reservoirs entstanden während zurückliegender Kaltzeiten wie etwa der Eiszeit vor rund 20.000 Jahren.

„Schätzungen zufolge speichern die weltweiten Offshore-Grundwasservorkommen etwa 500.000 Kubikmeter Süßwasser.“

Damals wuchsen die polaren Eisschilde, gleichzeitig sank der globale Meeresspiegel im Vergleich zu heute um mehr als 100 Meter. Infolgedessen fielen auf der gesamten Erde flache Küstengewässer, die sogenannten Schelfgebiete, trocken. Regnete oder schneite es dann auf diese Flächen, versickerte das Wasser im Erdreich und bildete dort Grundwasservorkommen. Als der Meeresspiegel zum Ende der Eiszeit wieder stieg, wurden die Schelfgebiete erneut überschwemmt. Die Grundwasservorkommen in der Tiefe befinden sich seitdem offshore. „Schätzungen zufolge speichern die weltweiten Offshore-Grundwasservorkommen etwa 500.000 Kubikmeter Süßwasser. Diese Menge würde ausreichen, um das Schwarze Meer zu füllen, und weckt natürlich Hoffnung, gerade in wasserarmen Küstenstaaten wie Malta und anderen Mittelmeerstaaten sowie Südafrika oder auch Mexiko“, sagt Marion Jegen.

Wo sich diese Reservoirs befinden, wie groß sie sind und ob sie sich als Trinkwasserquelle nutzen lassen, ist jedoch noch weitgehend unbekannt. Um diese zukunftsweisenden Fragen für Malta zu beantworten, →





An Bord Die Kieler Geophysikerin Marion Jegen sucht in Küstenregionen nach Süßwasser, das im Meeresboden verborgen ist. Bilder: Tamara Worzewski/MiraMundum



Herzstück GEOMAR-Forscher Amir Haroon mit dem elektromagnetischen Wellengenerator („Schwein“)



Montage Der Titanzylinder mit Empfängerlektronik wird in die Empfängerkette eingebaut.

haben Marion Jegen und ihre GEOMAR-Kollegen Christian Berndt und Bradley Weymer gemeinsam mit maltesischen Partnern das von Helmholtz geförderte interdisziplinäre Partnerschaftsprojekt SMART ins Leben gerufen. Die Aufgabe des SMART-Teams: grundwasserführende Gesteinsschichten zu identifizieren.

Bis zu 400 Meter tief muss die Geophysikerin dafür in den Meeresboden schauen, denn in dieser Tiefe finden sich jene harten, von Poren durchzogenen Kalkgesteine, die das Grundwasser wie ein Schwamm speichern. „Wir wollen nicht nur herausfinden, wo sich diese Offshore-Grundwasservorkommen befinden, sondern auch, ob sie mit dem Land verbunden sind“, sagt die Wissenschaftlerin. Sollte nämlich eine Verbindung bestehen, könnte es sein, dass durch das Abpumpen von Grundwasser an Land bereits heute Reservoirs angezapft sind, die eigentlich unter dem Meer liegen.

„Genau genommen sind wir also eher Mathematiker als Geologen!“

Für den Blick in die Tiefe setzt Marion Jegen auf ihr „Schwein“. So nennt sie einen dicken, torpedoförmigen Metallzylinder, der elektromagnetische Wellen erzeugt. Das Hightechgerät wird vom Schiff aus über den Meeresboden geschleppt, hintendran ein Schwanz aus Empfängern, mit denen sich die vom Gestein reflektierten und modifizierten Wellen wieder einfangen lassen. „Marine Elektromagnetik heißt diese Messmethode. Nur mit ihr können wir den elektrischen Widerstand des Untergrunds messen und daraus ableiten, ob das Gestein Salz- oder Süßwasser speichert“, erläutert die Geophysikerin: Salzwater leitet hervorragend; bei Süßwasser dagegen verdreifacht sich der elektrische Widerstand. „Um den Salzgehalt des Porenwassers genau zu bestimmen, kombi-

nieren wir unsere elektromagnetischen Daten mit den seismischen Profilen des Meeresbodens. Diese Zusammenführung ist ein statistisch-mathematisches Problem, dessen Lösung den Schwerpunkt unserer Arbeit bildet“, sagt Marion Jegen, dann fügt sie hinzu: „Genau genommen sind wir also eher Mathematiker als Geologen!“ Dass ihre Arbeitsgruppe alle Messgeräte selbst baut und nur ein paar andere Forscherteams auf der Welt diese Technologie einsetzen, erwähnt sie nur am Rande.

Für die ersten Messfahrten vor Malta haben die Forscher ein relativ kleines Schiff gechartert, sodass das Aussetzen und Einholen des „Schweins“ zum Kraftakt wird. Es gelingt nur, weil der Schiffskoch, ein Hüne mit Gewichtheberqualitäten, jedes Mal mit anpackt. Sorgen bereiten Marion Jegen auch die vielen Schiffs- und Flugzeugwracks, die seit dem Zweiten Weltkrieg vor Maltas Küste liegen. Das kostbare Messgerät könnte daran hängen bleiben und abreißen. Mit Adleraugen überwachen die Forscher daher die Winde, die Schleppkabel und die Monitore im Schiffslabor, auf denen die Messdaten auflaufen. Das Funkgerät für Absprachen mit dem Steuermann legt die Gruppenleiterin nicht aus der Hand.

Die Arbeitstage sind bis zu 18 Stunden lang und beginnen um fünf Uhr morgens, weil die Ferienwohnung des Teams eine Autostunde vom Hafen entfernt liegt. Doch niemand beschwert sich.

„Meine Gruppe und ich erforschen normalerweise den Tiefseeboden und untersuchen dort Methanhydrate und metallische Vorkommen, die in ferner Zukunft relevant werden könnten“, erklärt Marion Jegen: „Mit der Suche nach Offshore-Grundwasser aber arbeiten wir nun an einem Thema mit aktueller, direkter Bedeutung für Millionen Menschen. Das ist angewandte Forschung und spornt an.“ Zurück ins Bett geht es meist erst lange nach Einbruch der Dunkelheit über eine der ausgefahrenen



VIDEO

Ein Video zu SMART gibt es hier:

→ www.helmholtz.de/smart





Abfüllung Wasserproben werden für geochemische Untersuchungen entnommen.



Probe Stück eines Carbonatgesteins unter dem Meeresboden, das Grundwasser führen könnte



Sammlung Aaron Micallef mit Bohrkernen von maltesischen Ton- und Carbonatgesteinen

Ausfallstraßen, die durch expandierende Vororte führt und vorbei an dicht bebauten Meeresbuchten. Tourismus und Wirtschaftsaufschwung haben ihren Preis. Diesem Boom stünden die Malteser zwiespältig gegenüber, sagt Marion Jegen und berichtet von ihren Eindrücken: „Einerseits ermöglicht er bessere Verdienstmöglichkeiten und bietet vor allem jungen Leuten eine Perspektive. Andererseits überrollt er mit seinem Lärm, der Hektik und dem Ressourcen hunger die Alteingesessenen. Ich habe sie als freundlich, entspannt und offen erlebt. Sie lieben gutes Essen, Gesellschaft und Familie und schmücken ihre Straßen noch immer aufwendig für die katholischen Feiertagsprozessionen. Tradition und Moderne prallen hier also vielerorts aufeinander.“

In Sachen Tradition genießt die Wissenschaftlerin vor allem die maltesische Küche. „Kulinarisch trifft sich auf der Insel der gesamte Mittelmeerraum. Ich habe selten so gut, vielfältig und ausgiebig gegessen“, schwärmt sie. Die

Moderne gestaltet Marion Jegen aktiv mit – etwa indem sie und ihre SMART-Kollegen Nachwuchswissenschaftler aus verschiedenen Ländern in Mariner Elektromagnetik und Seismik ausbilden. Den Anfang machte eine Summer School auf Malta, zu der die weltweit führenden Experten kamen und ihre Methoden vorstellten. „Mit diesem Wissen im Gepäck können die jungen Kollegen in ihren Heimatländern die Suche nach Offshore-Grundwasser vorantreiben“, sagt Marion Jegen.

Sie selbst wird im Dezember 2020 nach Malta zurückkehren. Gemeinsam mit dem SMART-Team will sie dann vom Bord des deutschen Forschungsschiffes METEOR aus die Schelfgebiete des Landes flächendeckend untersuchen. Spätestens zum Projektende im Jahr 2021 wollen die Wissenschaftler dann klare Empfehlungen geben können, ob eine nachhaltige Lösung für Malts Wassernot eventuell im Meeresboden steckt. ◆

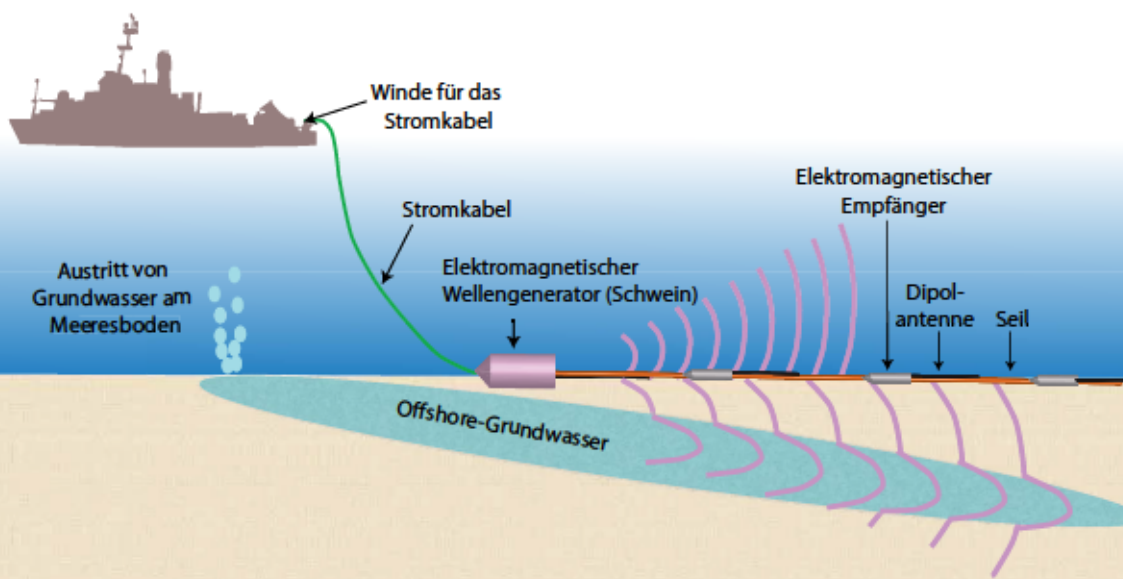
Sina Löschke



BILDERGALERIE

Mehr Ausgaben von „Helmholtz weltweit“ und Bildergalerien gibt es unter:

→ www.helmholtz.de/weltweit



Mitgezogen Das Schiff schleppt das „Schwein“ über den Meeresboden. Es erzeugt elektromagnetische Wellen, die von Gestein reflektiert werden. Eine Kette aus Empfängern detektiert wiederum die modifizierten elektromagnetischen Wellen. Grafik: Marion Jegen

Der DNA-Künstler

Anton Henssen untersucht am Max-Delbrück-Centrum seltene Tumore, praktiziert als Kinderarzt – und ist nebenher Konzeptkünstler. In seine Gemälde bringt er weit mehr von sich ein, als der Betrachter ahnt.

Was für ein Gewusel auf der Leinwand. Rote und blaue Streifen, grüne und türkisfarbene, alle scheinbar zufällig über die Leinwand verteilt: Vom weißen Hintergrund ist kaum noch etwas zu sehen. Sieht aus wie ein Urwald. Ein Dickicht aus Farben. Hat da einer seinen letzten Dschungeltrip aufs Gemälde gebannt? Oder einen bizarren Traum?

Nicht ganz, sagt Anton Henssen. Zum Werk habe ihn inspiriert, was er in seinem zweiten Leben, seinem Hauptberuf, ständig auf Computerbildschirmen betrachte: kreisförmige Diagramme, „Circos Plots“ genannt. Mit denen lassen sich Veränderungen des menschlichen Genoms visualisieren. Jeder farbige Bogen steht dabei für ein Chromosom, das sich bei gesunden Menschen eigentlich an einer ganz anderen Stelle der DNA befinden sollte. Die Zellen, die Anton Henssen auf Bildschirmen betrachtet, sind Tumorzellen. Und seine Diagramme deshalb oft extrem bunt.

Anton Henssen ist Krebsforscher, Spezialgebiet: seltene Tumorarten bei Kindern. Seit Ende vergangenen Jahres leitet er die Emmy-Noether-Forschungsgruppe „Genomische Instabilität bei kindlichen Tumoren“ am Experimental and Clinical Research Center (ECRC), der gemeinsamen Einrichtung des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft (MDC) und der Charité in Berlin-Buch. Hier will der 33-Jährige herausfinden, wie Besonderheiten im Erbgut dafür sorgen, dass Krebs so früh auftritt. Gleichzeitig arbeitet er als Arzt an der Charité – in der Abteilung für Kinderonkologie behandelt er genau die Fälle seltener Krebserkrankungen, die er durch seine Forschung besser verstehen möchte.

Und noch mehr: Anton Henssen ist auch Konzeptkünstler und Maler. Diesen Sommer hatte er eine Einzelausstellung in der Alten Münze in Berlin-Mitte. Zur Vernissage lud er auch Forscherkollegen. Manche waren verwundert. Eine Frage, die Henssen öfter hört, lautet: „Reicht dir denn dein Beruf nicht aus?“ Na, so darf man es nicht

sehen, sagt er dann immer. Forschung und Kunst sind für ihn keine Alternativen. Schon mal gar nichts, was sich ausschließt. „Sie ergänzen sich, bereichern und inspirieren einander.“ Nicht bloß in Form der bunten Bögen, die am Ende auf seinem Gemälde landen.

Zum Malen zieht es ihn in sein Atelier in Berlin-Mitte. Ein ehemaliges Fabrikgebäude, dritter Stock, den Gang durch hinten rechts. In einer Ecke des kahlen Raums steht ein massiver Holztisch mit zahlreichen Sprühdosen darauf. An den Wänden des Ateliers finden sich überall Farbspuren seiner letzten Werke. Durchs Fenster blickt Anton Henssen runter in den Innenhof. Das Arbeiten hier, sagt er, habe viel Meditatives. „Meistens werden Bilder besser, wenn man nicht zu viel darüber sinniert.“ So komme es vor, dass seine Gedanken beim Malen abschweiften und ihm dann plötzlich einfalle, wie dieses eine Problem, das ihn im Labor seit Tagen quält, vielleicht doch zu bewältigen sei. Und umgekehrt starre er als Forscher auf Mutationen und denke sich: Nanu, das sieht jetzt so interessant aus, vielleicht sollte ich einmal versuchen, diese Umriss zu malen. Er sagt: „Ich arbeite am besten, wenn ich nicht nur einer einzigen Sache nachgehe.“

Die Gleichzeitigkeit von Kunst und Naturwissenschaft galt für ihn schon immer. Seine Schwester Clara erzählt, er habe in der Schule ständig vor sich hingezeichnet, auch in Fächern, wo das nicht zum Lehrplan gehörte. Seine Hausaufgabenhefte seien voller gemalter Tatzten und Entenschnäbel gewesen. Im Nachhinein wundert sich seine Schwester, wie er überhaupt damit durchkam. „Zumindest die Kunstlehrer haben immer zu ihm gestanden.“

Anton Henssen ist in Düsseldorf aufgewachsen. Sein Gymnasium lag keine 50 Meter von der Kunstakademie entfernt; jener berühmten Hochschule, an der Joseph Beuys ab den 1960er-Jahren seine Spuren hinterließ, auch mit seinem Leitspruch: „Jeder Mensch ist ein Künstler.“ Die Türen der Akademie standen für alle offen, sagt →





ANTON HENSSEN

Krebsforscher am Max-Delbrück-Centrum



Im Atelier Anton Henssen extrahiert zirkuläre DNA aus menschlichem Gewebe. Anschließend verewigt er die unsichtbare DNA mit Ölfarbe, Acryl und Lackspray auf der Leinwand. Bild: Anton Henssen

Anton Henssen, und so ging er schon als Schüler oft hin, sprach Professoren an, zeigte ihnen seine eigenen Gemälde. Leistungskurse: natürlich Kunst und Bio und nach dem Abitur eine schwere Entscheidung. „Ich dachte mir: Wenn ich jetzt Kunst studiere, werde ich nie erfahren, was mich am meisten interessiert: wie sich der Mensch zusammensetzt, und zwar in seinen molekularen Strukturen.“ Also schrieb er sich für Medizin ein, besuchte aber nebenher Vorlesungen der Kunstgeschichte. Hielt auch den Kontakt zur Akademie, feierte dort Partys, tauschte sich mit befreundeten Studenten und Professoren aus.

Er erinnert sich an ein Gespräch, in dem er einem Professor an der Kunstakademie erzählte, er überlege ernsthaft, doch noch komplett zur Kunst zu wechseln. „Um Himmels Willen“, habe der Dozent ihn unterbrochen, „bleiben Sie bloß bei der Medizin. Lernen Sie was Anständiges!“ Er hat den Rat befolgt. Ohne von seiner anderen Leidenschaft zu lassen.

Farben und Formen sind nicht das Einzige, das Anton Henssen aus seinem Forscheralltag in die Kunst einbringt. Den eigentlichen Clou seiner jüngsten Ölgemälde sieht man mit bloßem Auge nicht. Er hat sein eigenes Erbgut in die Farben gemischt. Hat sich im Labor Blut abgenommen, das Röhrchen in die Zentrifuge gestellt, immer wieder Bestandteile herausgefiltert, die er nicht brauchte, so lange, bis am Ende nur noch eine klare, farblose, etwas zähe Flüssigkeit übrigblieb: seine DNA. Die hat Anton Henssen dann in die Ölfarben

geführt – und das Ganze in Schichten auf der Leinwand aufgetragen. Die Beigabe macht optisch keinen Unterschied. „Man kann sagen, ich habe meine Chromosomen in den Bildern versteckt.“

Das Verwenden organischer Substanzen sei kunstgeschichtlich sowieso keine Seltenheit, sagt er: Fasziniert erzählt Anton Henssen von den Höhlenmenschen, die mit eigenem Blut malten, und den Schweineblutorgien des österreichischen Aktionskünstlers Hermann Nitsch oder von Andy Warhol, der auf einige seiner Bilder urinierte. „Bei mir ist es halt zentrifugiertes Erbgut.“ Anton Henssen hat sichtlich Freude daran, die Bezüge und Querverbindungen seiner Kunst aufzuzeigen. Man spürt, dass es für ihn ein reizvolles Spiel ist. Aber auch Wissenschaft.

„Circular DNA“ hieß seine Ausstellung im Juni, die in der Alten Münze in Berlin gezeigt wurde. Das passt zum Schwerpunkt seiner Arbeit. Der Krebsforscher untersucht speziell das Phänomen der zirkulären, also ringförmigen DNA. Seit den 1960er-Jahren ist bekannt, dass DNA-Stränge in Tumorzellen nicht immer linear verlaufen, sondern dass sich dort zwischendrin viele kleine, in sich abgeschlossene Kreise bilden. Vermutlich spielen diese eine zentrale Rolle bei der Tumorbildung – womöglich sind sie gar für das unendliche Wachstum der Zellen verantwortlich. Noch ist dies alles lediglich Theorie. Mittels neuer Sequenziermethoden will er mit seinen Mitarbeitern das Geheimnis der zirkulären DNA entschlüsseln. Und so im besten Fall präzisere Diagnostik oder wirksamere Therapien ermöglichen.

Auch seine Kunst will Anton Henssen weiterentwickeln. Es müsse ja nicht immer das eigene Erbgut sein, sagt er. Womöglich wird er sich bald der Landschaftsmalerei zuwenden. Und ein Naturidyll auf die Leinwand bringen, indem er die DNA jener Pflanzen extrahiert und untermengt, die sich an diesem abzubildenden Ort befinden.

Klar gebe es Unterschiede zwischen seinen beiden Leidenschaften. In der Kunst kreierte er etwas, das vorher nicht war. In der Forschung existiere das Objekt seiner Neugier bereits, er versucht herauszufinden, wie es funktioniert. Also habe er jeweils sehr verschiedene Erwartungshaltungen. Hier baut er auf ein konkretes Ergebnis, dort wartet er ab, was geschieht. Und auf welchem Gebiet fühlt er sich sicherer? „Auf keinem von beiden“, sagt Anton Henssen. „Das wäre auch ein sehr schlechtes Zeichen.“ Unsicherheit sei gesund. Und Triebkraft für alle Neugier. ◆

Sebastian Leber



ONLINE

Mehr Porträts finden Sie hier:

→ www.helmholtz.de/portraits





SCHWIMMEN ODER SINKEN – ALLES EINE FRAGE DER DICHTE

Wieso kann man im Meer mit dem Rücken auf der Wasseroberfläche treiben? Weshalb funktioniert das in einem Badensee nicht so gut? Die Antwort auf diese Fragen gibt dir dieser Versuch. Untersuche, wie sich Wasser je nach Salzgehalt verhält. Mit Lebensmittelfarben kannst du die sonst durchsichtigen Schichten sichtbar machen.

DAS BRAUCHST DU:



SO WIRD'S GEMACHT:

1. Wiege als Erstes verschiedene Salzmenen ab – zum Beispiel 28 Gramm, 12 Gramm, 7 Gramm und 4 Gramm.
2. Gib diese unterschiedlichen Salzmenen je in einen Messbecher und fülle mit Wasser auf 100 Milliliter auf. Rühre so lange um, bis sich das Salz vollständig aufgelöst hat. Fülle dann die Flüssigkeit in ein Gefäß um. Gieße in ein weiteres Gefäß 100 Milliliter Leitungswasser.
3. Gib in die Gefäße jeweils die gleiche Menge unterschiedlicher Lebensmittelfarben – zum Beispiel Rot, Grün, Lila, Gelb und Blau.
4. Beginne mit der Schichtung: Starte mit der geringsten Salzkonzentration (Leitungswasser) und unterschichte dann mit den schwereren Lösungen – zuletzt mit der 28-prozentigen Lösung. Am besten nutzt du für das Unterschichten eine Pipette.

ERKLÄRUNG:

Je mehr Salz in einem Gefäß ist, desto mehr Masse befindet sich in einer Volumeneinheit – das heißt desto höher ist die Dichte. Stark salzhaltiges Wasser sinkt ab, Wasser mit geringem Salzgehalt befindet sich in den oberen Schichten. Im Versuch haben wir den Salzgehalt ausgewählter Gewässer nachempfunden: Mittelmeer = 4 Prozent, Mono Lake in Kalifornien = 7 Prozent, Qarun-See in Ägypten = 12 Prozent, Totes Meer zwischen Israel und Jordanien = 28 Prozent. Im Toten Meer kann man besonders gut auf dem Rücken auf der Wasseroberfläche treiben, weil der menschliche Körper eine geringere Dichte als das Salzwasser hat.



VIDEO

Schau dir Experimente als Video an unter:
→ www.helmholtz.de/experiment



ONLINE

Mehr über die Schülerlabore unter:
→ www.helmholtz.de/schuelerlabore



Dieses Experiment stammt von:
Schülerlabor DeltaX

Bei DeltaX können Schülerinnen und Schüler ab der fünften Klasse Experimente aus der Physik, Chemie und Biologie in einem hochmodernen Labor durchführen. Angeboten werden zudem Ferienprogramme sowie Fortbildungen und Workshops für Lehrkräfte.

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden
Tel: +49 260-2272
E-Mail: deltax@hzdr.de
www.hzdr.de/deltax

