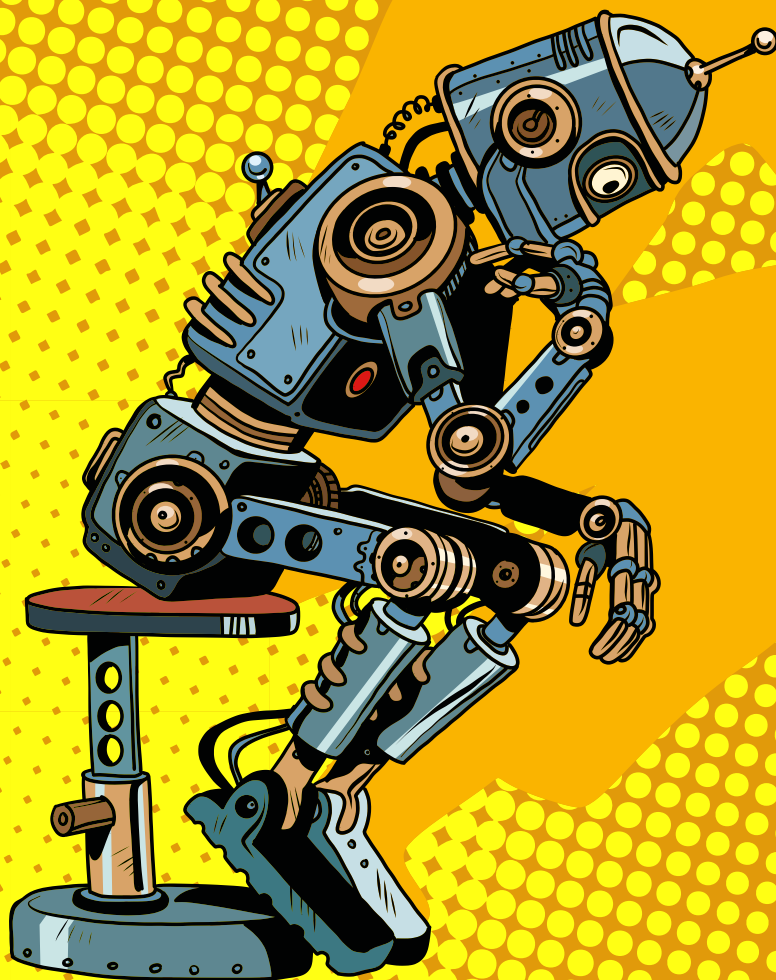


SMARTE ROBOTER

Wie weit ist die Forschung zur künstlichen Intelligenz?

Wodurch unterscheiden sich Mensch und Maschine noch?



UNSIHTBAR

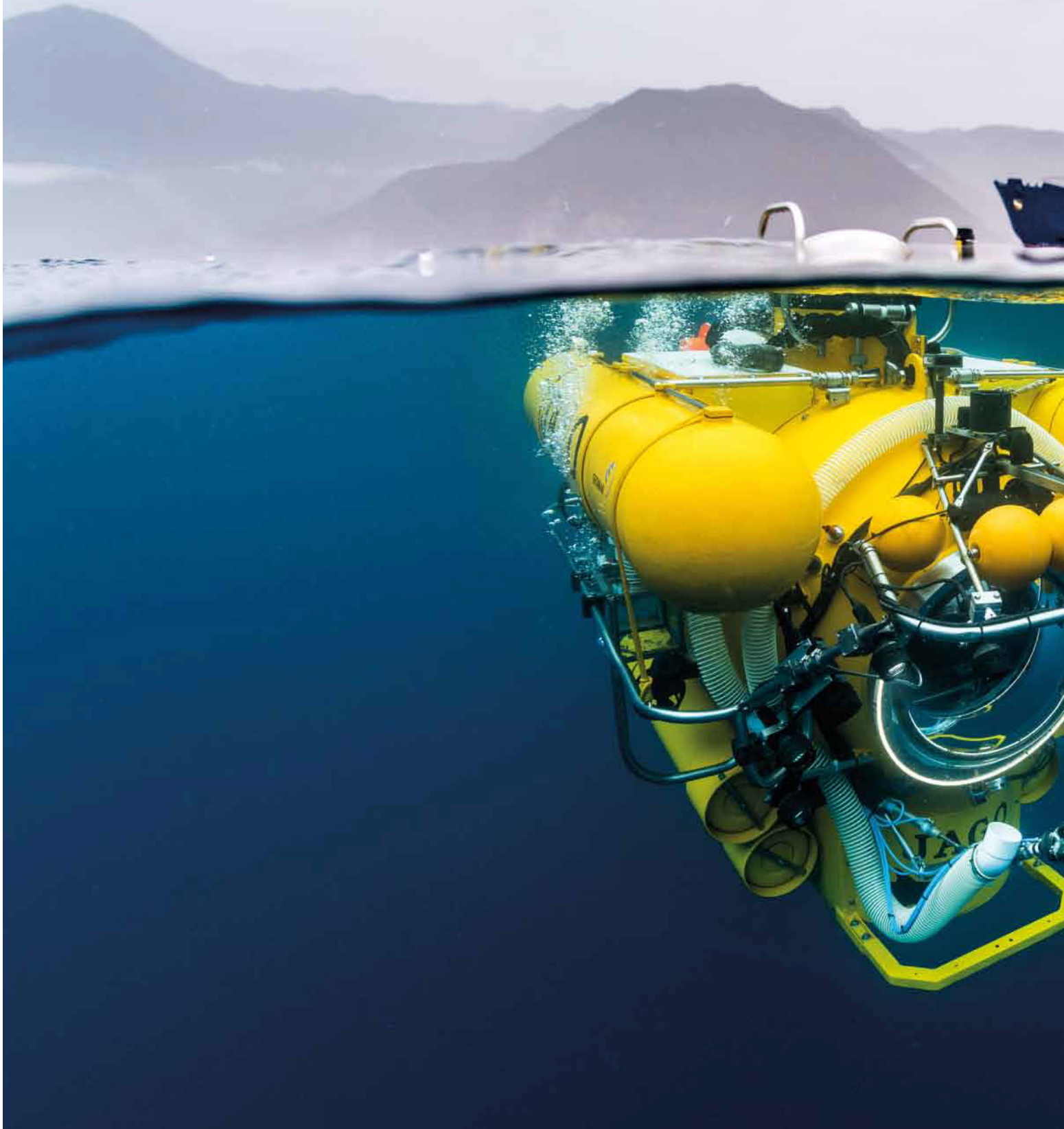
Auf der Spur der Geisterteilchen

EXPLOSIV

Munition auf dem Meeresgrund

AUSGETROCKNET

Wenn Wasser zum knappen Gut wird





Auf Tauchgang

So trüb die Luft an Land zu sein scheint, so klar wirkt die Sicht auf das gelbe Objekt unter der Wasseroberfläche, die die beiden gegensätzlichen Sphären trennt. In unserem Wissenschaftsbild begibt sich das Unterwasserfahrzeug JAGO vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel auf den Weg in die Tiefe des Atlantiks vor den Kapverdischen Inseln. Im Hintergrund ragen die Gebirge der zweitgrößten kapverdischen Insel Santa Antão hervor. An Bord des Forschungsschiffes POSEIDON, das in der Nähe auf Position gegangen ist, überwacht eine internationale Forschungsgruppe den Tauchgang. Im Fokus der Expedition steht die sogenannte „pelagische Zone“ – der Bereich des Ozeans unterhalb von 200 Metern Tiefe. Es ist der größte Lebensraum auf unserem Planeten, aber auch der am wenigsten erforschte. Die Gewässer rund um die Kapverden sind ideal für Forschungsarbeiten in der Tiefsee. Die Hänge der Vulkaninseln fallen unter Wasser steil ab bis in Tiefen von mehr als 4.000 Metern, wodurch die Tiefsee nahe an die Inseln reicht. Während der Expedition konnten wichtige Erkenntnisse zum Nahrungsnetz im tropischen Ostatlantik gewonnen werden, der für die Biodiversität im gesamten Atlantik eine wichtige Rolle spielt. ◆

Franziska Roeder



ONLINE

Mehr eindrucksvolle Bilder aus der Wissenschaft finden Sie hier:

→ www.helmholtz.de/wissenschaftsbild

TITELTHEMA

- 08 Aufstieg der Roboter**
Wie Roboter bald zum smarten Kameraden in allen Lebenslagen avancieren könnten
- 14 Interview mit Armin Grunwald**
„Technik ist immer besser als wir Menschen“

WISSENSCHAFTSBILD

- 02 Auf Tauchgang**

INFOGRAFIK

- 06 Eingefroren für ein Jahr**
Die MOSAiC-Expedition

STANDPUNKTE

- 24 Blickwinkel**
Ranga Yogeshwar und Otmar D. Wiestler
- 30 Auf der Suche nach dem Durchbruch**
Martin Stratmann plädiert für eine Agentur für Sprunginnovationen

PORTRÄT

- 40 Heike Rauer**
Die nach den Sternen greift

FORSCHUNG

- 07 Helmholtz extrem**
Der schnellste Wasserkocher
- 16 Helmholtz kompakt**
Neues aus der Welt der Helmholtz-Gemeinschaft
- 19 Resonator-Podcast**
Polymere als künstliche Muskeln
- 20 Ein knappes Gut**
Wassermanagement in Jordanien und Zentralasien
- 26 Die Superstars der Teilchenphysik**
Auf der Jagd nach Neutrinos
- 31 Nachgefragt**
Wie erzeugt man ein neues Element?
- 32 Das Erbe der Kriege**
Munition im Meer und ihre ökologischen Folgen
- 36 JWD**
Die Kraft des dreckigen Eises

EXPERIMENT

- 43 Kleine Forscher**
Bunter Blubberspaß mit der Lavalampe



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
Artredaktion Stephanie Lochmüller, Franziska Roeder
Schlussredaktion Andrea Mayer

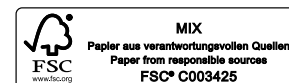
Redaktion
Kristine August, Michael Büker, Annette Doerfel,
Kai Dürfeld, Nathalie Houdelet, Elena Hungerland,
Kilian Kirchgäßner, Roland Koch, Stephanie Lochmüller,
Sina Lösche, Franziska Roeder, Antonia Rötger

Bildnachweise
Titel/Umschlag: studiostoks/Fotolia; S. 2–3: Uli Kunz;
S. 4–5: Sven Hoppe/dpa, CAU Kiel, piyaset/Fotolia,
Science Communication Lab/DESY, Phil Dera, Stefanie
Lutz, David Ausserhofer; S. 8–9: Sven Hoppe/dpa;
S. 13: graphicgeoff/Fotolia; S. 14: KIT; S. 19: Freepik;
S. 20: piyaset/Fotolia; S. 24–25, 30: Jindrich Novotny;
S. 36–37: Stefanie Lutz, National Geographic; S. 38–39:
Stefanie Lutz; S. 40: Phil Dera; S. 43: Tanja Hildebrandt

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

Papier
Arctic Volume white

ISSN
2197-1579





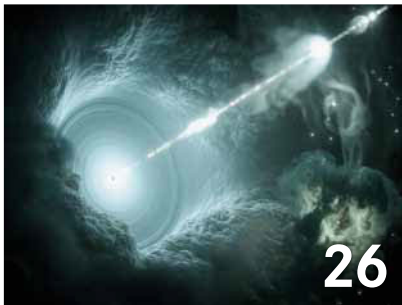
08



20



40



26



36



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

besitzen Sie einen Roboter, der Ihren Rasen mäht oder in der Wohnung staubsaugt? Oder gar ein selbstfahrendes Auto? Das ist vermutlich erst der Anfang: Dank den rasanten Fortschritten der künstlichen Intelligenz könnten Roboter schon bald vom unermüdlichen, dumpfen Helfer zum cleveren Kameraden in allen Lebenslagen aufsteigen. Ob und wie sich Mensch und Maschine dann noch unterscheiden, erfahren Sie in unserer Titelgeschichte.

Smarte Roboter könnten auch unter Wasser Hilfe leisten: Vor deutschen Küsten lagern noch immer Millionen Tonnen Munition. Das „Erbe der Kriege“ birgt unabsehbare Gefahren für Mensch und Umwelt, wenn es nicht unschädlich gemacht wird.

Statt tief ins Meer geht es mit den „Superstars der Teilchenphysik“ hoch hinaus ins All. Wir berichten über die mühsame Jagd nach den unsichtbaren Neutrinos und ihrer Quelle.

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
Pressereferentin

→ **Abonnement**

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

Eingefroren für ein Jahr

Das Forschungsschiff Polarstern begibt sich 2019 auf eine unvergleichliche Reise in die zentrale Arktis.

Der deutsche Forschungseisbrecher Polarstern wird im Rahmen der MOSAiC-Expedition ab Herbst 2019 fest eingefroren durch das Nordpolarmeer driften. Auf einer stabilen Eisscholle mit einem Durchmesser von mehreren Kilometern entsteht neben dem Forschungsschiff ein zentrales Forschungscamp. Es ist verbunden mit einem Netzwerk an Messstationen, um Ozean, Eis und Atmosphäre sowie das arktische Leben so umfassend wie nie zuvor zu untersuchen. Zusätzlich sind Forschungsflugzeuge und Satelliten für eine arktisweite Abdeckung der Beobachtungen im Einsatz.

Mindestens **1.100 Meter** lang muss die Landebahn für die Versorgungsflugzeuge auf dem Meereis sein.

In **35.000 Metern** Höhe wird die höchste Messung stattfinden.

Im Winter werden Temperaturen von bis zu **-45 Grad Celsius** erwartet.

Die geplante Dauer der Expedition beträgt **350 Tage** im Eis.



Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Eisdrift beträgt ungefähr **7 Kilometer pro Tag**

In **4.000 Metern** unter dem Eis wird die tiefste Messung stattfinden.

Mindestens **1,5 Meter** dick muss das Meereis sein, um darauf die notwendige Infrastruktur aufzubauen.

Bis zu **1.000 Kilometer** wird die Polarstern vom Festland entfernt sein.

AWI GRAPHIC
© Martin Künsting

HELMHOLTZ extrem

Der schnellste Wasserkocher



Erhitzt Mit einem Röntgenlaser lässt sich Wasser in nur 75 Femtosekunden von Zimmertemperatur auf 100.000 Grad Celsius erhitzen. Bild: bildkistl/Fotolia

Am heimischen Herd hat man das Gefühl, dass Wasser erst nach einer gefühlten Ewigkeit kocht. Mit einem Röntgenlaser geht das hingegen sehr viel schneller: Ein Forscherteam hat damit Wasser von Zimmertemperatur auf 100.000 Grad Celsius in weniger als 75 Femtosekunden aufgeheizt – das ist der milliardste Teil einer millionstel Sekunde.

Das Experiment erschafft damit den wohl schnellsten Wasserkocher der Welt. Die Forscher schossen mit dem Freie-Elektronen-Laser LCLS am US-Forschungszentrum SLAC ultrakurze und hochintensive Röntgenblitze auf einen feinen Wasserstrahl. „Das ist sicherlich nicht der übliche Weg, Wasser zu kochen“, erläutert Forschungsleiter Carl Caleman vom Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) bei DESY. „Normalerweise rüttelt man quasi immer stärker und stärker an den Wassermolekülen, wenn man Wasser erhitzt.“ Auf der molekularen Ebene ist Hitze gleich Bewegung. Je heißer, desto stärker bewegen sich die Moleküle eines Stoffs. Anders bei diesem Experiment: „Der Röntgenblitz schlägt die Elektronen

aus den Wassermolekülen hinaus und zerstört so die Balance der elektrischen Ladung. Die Atome spüren plötzlich eine starke abstoßende Kraft und beginnen, sich heftig zu bewegen“, sagt Caleman. Dadurch durchläuft das Wasser eine Phasenumwandlung von einer Flüssigkeit zu einem Plasma. Plasma ist Materie in einem Aggregatzustand, bei dem die Elektronen von den Atomen gelöst wurden, so dass eine Art elektrisch geladenes Gas entsteht. „Während aus dem flüssigen Wasser ein Plasma entsteht, behält es jedoch die Dichte des flüssigen Wassers bei, da die Atome noch keine Zeit hatten, sich nennenswert zu bewegen“, erläutert Ko-Autor Olof Jönsson von der Universität Uppsala. Dieser exotische Zustand kommt auf der Erde nirgends natürlicherweise vor.

Wasser besitzt verschiedene Anomalien, etwa bei der Dichte, der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit. Diese Anomalien sollen im Rahmen des künftigen, bei DESY geplanten Centre for Water Science genauer untersucht werden. ◆

Annette Doerfel



ONLINE

Alle Ausgaben von
HELMHOLTZ extrem
unter:

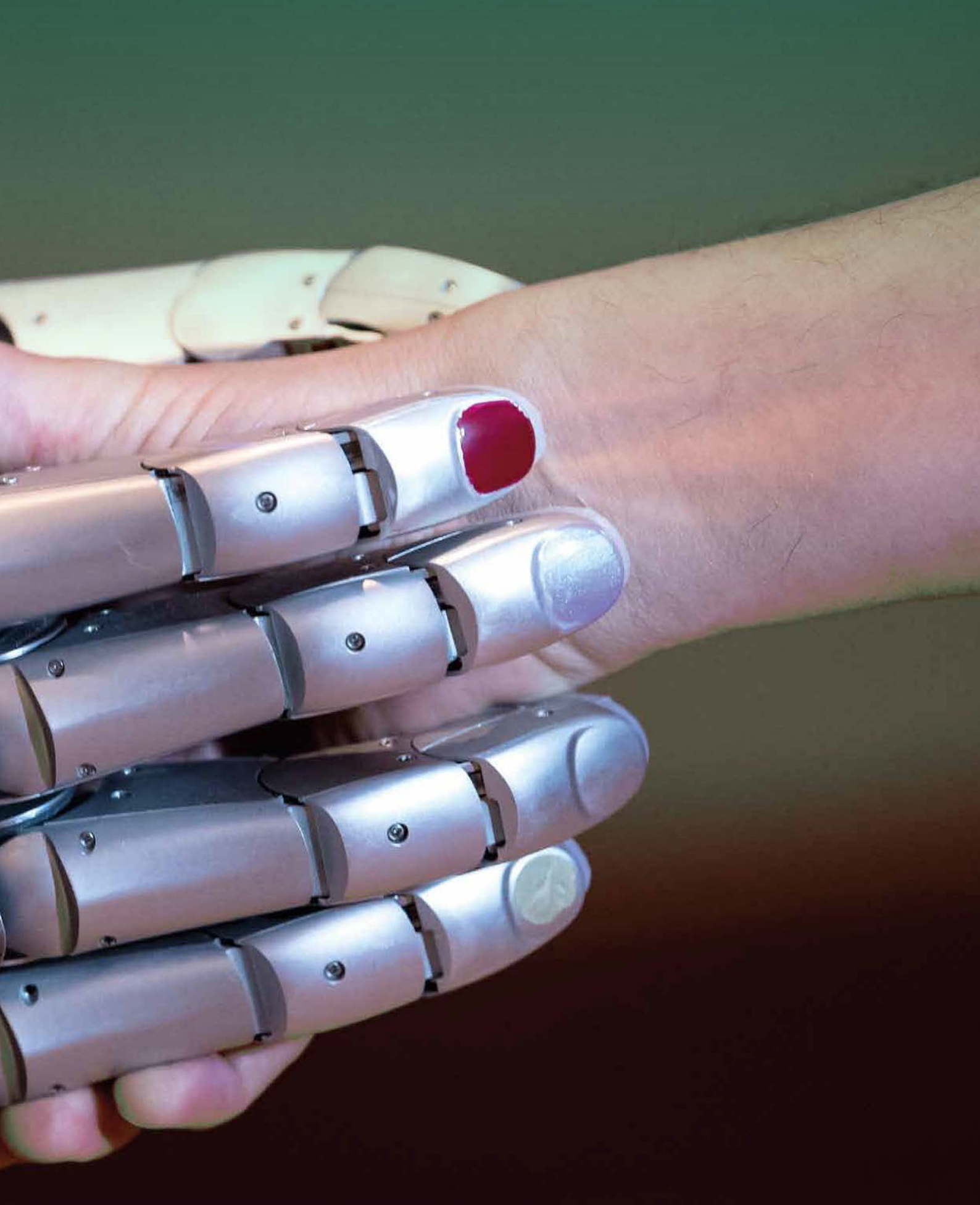
→ [www.helmholtz.de/
extrem](http://www.helmholtz.de/extrem)



AUFSTIEG DER ROBOTER

Bislang sind die meisten Roboter nur dumpfe, unermüdliche Helfer:
In Fabriken führen sie tausendfach die immer gleiche Bewegung
aus, im Garten drehen sie ihre Runden und mähen den Rasen.
Doch dank der Fortschritte in der künstlichen Intelligenz
können sie bald zum selbstständigen, cleveren
Kameraden in allen Lebenslagen avancieren.







Automaten faszinieren den Menschen seit vielen Hundert Jahren. Schon in der Antike öffneten sie mit einer ausgeklügelten Mechanik Tempeltüren, spielten Musik oder füllten Trinkgefäße. Im ausgehenden Mittelalter beschrieb Leonardo da Vinci sogenannte menschenähnliche Androiden. Und seit Jules Verne sind Roboter aus der Science-Fiction-Literatur nicht mehr wegzudenken, auch wenn sie diese Bezeichnung streng genommen erst 1920 erhalten haben. Der tschechische Schriftsteller Josef Čapek wählte damals den Begriff, der sich mit „Frondienst“ übersetzen lässt. Heute bauen Roboter im Auftrag ihrer Gebieter Autos, erkunden den Mars und sind als Spielzeuge für Groß und Klein sogar in Wohnzimmern weit verbreitet.

Antike Tempeltüröffner und moderne Schweißroboter haben eines gemein: Stur führen sie Befehle aus, die ihnen ihre Erbauer in komplizierten Mechaniken oder unzähligen Zeilen Quellcode hinterlegt haben. An allem, was darüber hinausgeht, scheitern sie: Autonom agieren, sich auf unbekanntem Terrain zurechtfinden, mit neuen Werkzeugen hantieren – das können Roboter nicht. Noch nicht: Denn der rasante Fortschritt auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz (KI) könnte Roboter vom reinen Werkzeug zum smarten Partner für den Menschen aufsteigen lassen. Ein Beispiel dafür ist derzeit 400 Kilometer

Kugeliger Kollege Der Astronautenroboter CIMON begleitet Alexander Gerst an Bord der ISS. Bild: Airbus

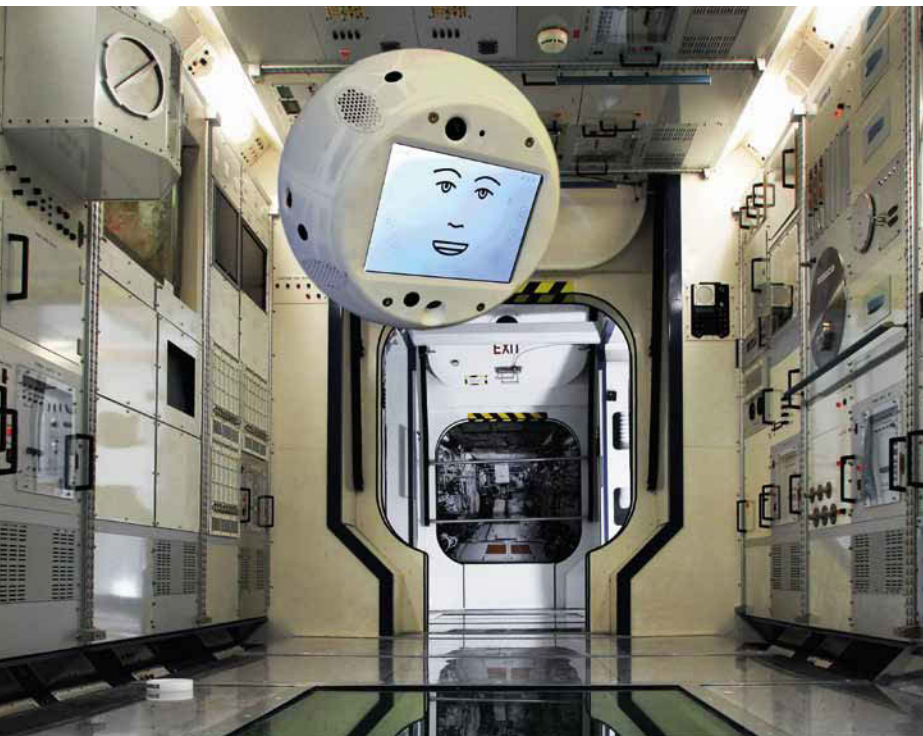
über der Erde im Einsatz: Der Roboter CIMON schwebt seit Juni 2018 zusammen mit dem Astronauten Alexander Gerst durch die Internationale Raumstation ISS. CIMON ist kreisrund, misst 32 Zentimeter und ist noch in der Ausbildung. „Er ist der allererste Schritt auf dem Weg zu einem autonomen, KI-gesteuerten Assistenzsystem für Weltraummissionen“, erzählt Volker Schmid vom Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). „An Bord der ISS testen wir erst einmal die grundlegenden Funktionen wie Sprachsteuerung, Gesichtserkennung, Manövrierfähigkeit und Navigation, aber auch die Akzeptanz durch die Astronauten.“

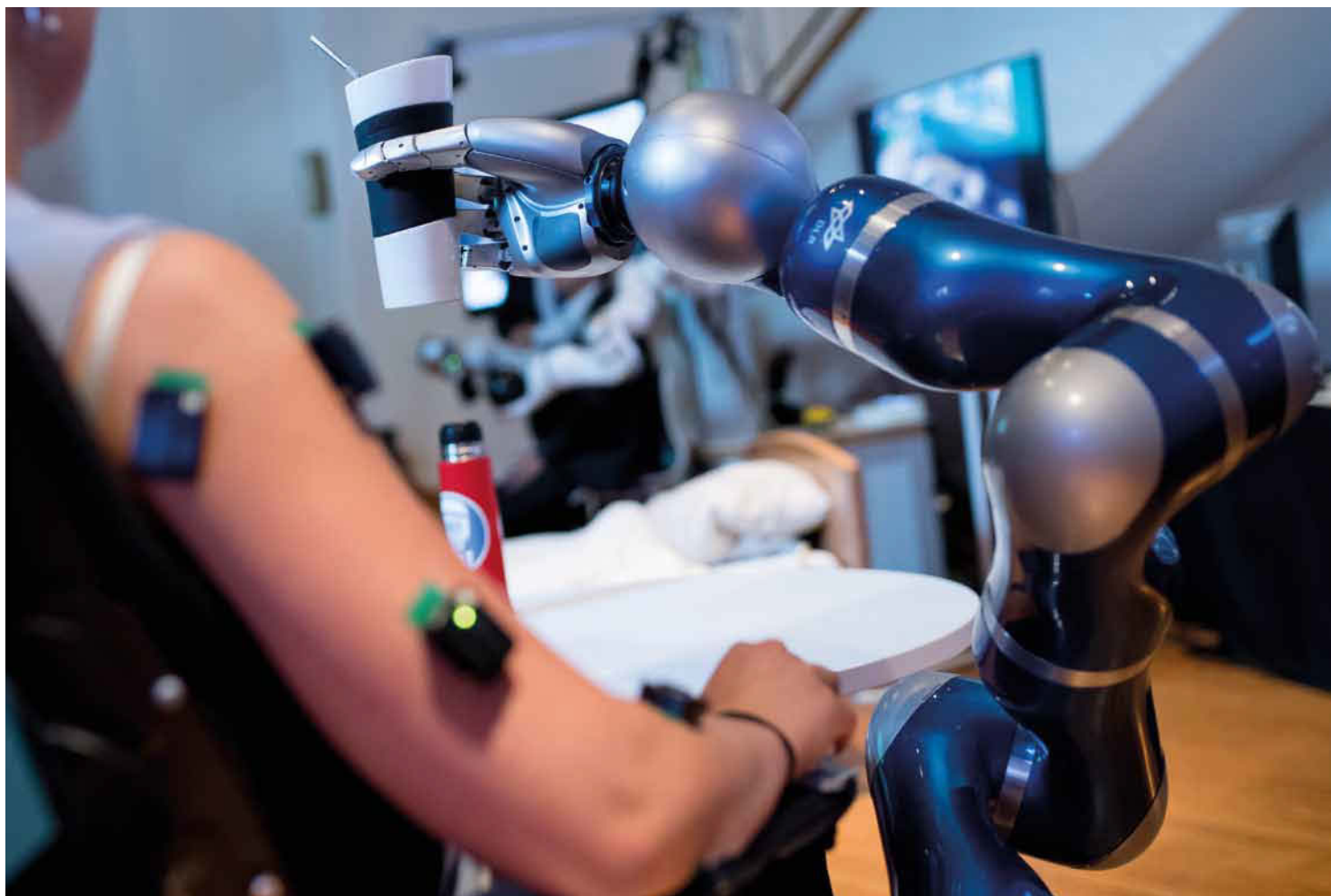
Mit Kameras, Mikrofonen und Ultraschallsensoren ausgestattet, kann CIMON sehen, hören und Objekte erkennen. Ventilatoren erlauben ihm, sich in der Schwerelosigkeit zu bewegen. Mit Schwenkbewegung von oben nach unten nickt er, auch den Kopf schütteln kann er. Wird er angesprochen, wendet er dem Astronauten das Gesicht zu. Auf Fragen antwortet er über seinen Lautsprecher oder zeigt Bilder und Texte auf dem Display an, wo eben noch sein Smiley-Gesicht gewesen ist. Für diesen Einsatz musste CIMON auf der Erde lange üben: Über Mikrofone hat sich Astronaut Alexander Gerst mit seinem künftigen Assistenten unterhalten und so dessen künstliches neuronales Netz mit seinen Stimm-Mustern und Sprechgewohnheiten trainiert. Dieser Aufwand zahlt sich zumindest mittelfristig aus, hofft Volker Schmid: „In den kommenden drei bis acht Jahren wollen wir CIMON zu einem volloperationellen System weiterentwickeln. Er soll sich autonom in einer Raumfahrtumgebung bewegen und die Astronauten bei ihren Tätigkeiten unterstützen.“

Das Kalkül dabei: Wenn ein Roboter den Astronauten zeitraubende Routineaufgaben abnimmt, können die sich viel intensiver den wissenschaftlichen Experimenten an Bord widmen.

„Wir wollen den Pfleger nicht ersetzen, wir wollen ihn unterstützen [...], damit er mehr Zeit für den Pflegebedürftigen hat.“

Ähnlich hochgesteckt sind die Ziele, die sich Forscher im bayerischen Oberpfaffenhofen gesteckt haben: „Wir arbeiten an Robotern, die in Zukunft dabei helfen könnten, die Autonomie von beeinträchtigten Menschen in ihrer gewohnten Umgebung so lange wie möglich zu erhalten“, sagt Annette Hagengruber. Die Ingenieurin ist Teil des





Gesteuert Der Pflegeroboter EDAN kann aus Muskelsignalen und unterstützt von künstlicher Intelligenz schließen, was von ihm gefordert wird. Bild: Sven Hoppe/dpa

SMiLE-Teams am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik. Herz des Projekts sind zwei Systeme, denen ein futuristischer Name gemein ist: „Rollin’ Justin“ heißt das eine Konzept, EDAN das andere. „Wir wollen in erster Linie herausfinden, wo die Robotik in Pflegeheimen unterstützen kann“, erzählt Hagengruber, die zur EDAN-Forschergruppe gehört. „Wir wollen den Pfleger nicht ersetzen, wir wollen ihn unterstützen und ihm manche Aufgaben vereinfachen, damit er mehr Zeit für den Pflegebedürftigen hat.“

EDAN – eine Kombination aus Rollstuhl, beweglichem Roboterarm und Hand – hat bereits Erfahrungen in der Pflege von Menschen mit motorischen Einschränkungen sammeln können. Restmuskelsignale im Arm des Patienten steuern es. Künstliche Intelligenz lässt EDAN dabei vorausschauend handeln, denn dank gesammelter Daten kann er vorhersehen, was sein Schützling

als Nächstes tun möchte. Auch „Rollin’ Justin“ hat sich bereits in der Praxis bewährt – er ist ein humanoider Roboter, der stattliche 1,91 Meter misst. Doch wie integrieren sich die zwei Roboter in den laufenden Betrieb eines Pflegeheims und welche Aufgaben übernehmen sie dort? „Das wollen wir nicht aus unserer Ingenieurssicht entscheiden“, sagt Annette Hagengruber. „Deshalb arbeiten wir eng mit der Caritas in Garmisch-Partenkirchen zusammen. Justin und EDAN werden dort ab Ende 2018 eingesetzt.“ Die Vision: In Pflegeheimen könnten sie Routineaufgaben übernehmen. Und bei den Patienten zu Hause wären sie dafür zuständig, im Haushalt zu helfen, Brille oder Wasserglas zu bringen und im Notfall eigenständig einen Arzt zu rufen.

Menschen in häuslicher Umgebung unterstützen, können auch die Roboter, die Tamim Asfour mit seinem Team entwickelt. Der Professor →



ONLINE

Was macht Alexander Gerst im All?
Mehr dazu unter:

→ www.helmholtz.de/gerst-im-all





ONLINE

Mehr Informationen zur künstlichen Intelligenz gibt es unter:

→ www.helmholtz.de/ki



leitet den Lehrstuhl für Hochperformante Humanoide Technologien am Institut für Anthropomatik und Robotik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und begann während seiner Dissertation im Jahr 1999 mit der Entwicklung. Mittlerweile gibt es sechs Generationen seines Roboters, den er ARMAR genannt hat; die ersten Roboter sind für den Haushalt konzipiert. Jetzt geht Tamim Asfour den nächsten Schritt: „ARMAR-6 wurde im Rahmen des europäischen SecondHands Project entwickelt und soll Techniker bei Wartungsaufgaben in industriellen Anlagen unterstützen.“

Dabei feilen die Wissenschaftler in Karlsruhe nicht nur an den mechanischen Fähigkeiten ihres Schützlings. Eine zentrale Rolle spielt die Frage, wie ihre Roboter neue Fähigkeiten erlernen können. „Uns ist wichtig, dass sie später keinen Experten brauchen, der ihnen neue Dinge beibringt. Stattdessen sollen sie lernen, indem sie Menschen bei ihren Tätigkeiten beobachten. Wir nennen das Imitation Learning oder Lernen durch Vormachen. Der Roboter beobachtet, generiert daraus eigene Fertigkeiten, führt sie aus, prüft sein Vorgehen mit den bisher gesammelten Erfahrungen und wird sein Verhalten beim nächsten Mal entsprechend anpassen.“ Derzeit soll sich ARMAR-6 im Lagerhaus eines britischen Online-Supermarktes bewähren. Dort soll er seinem menschlichen Servicetechniker nicht nur passendes

Werkzeug reichen, sondern auch erkennen, wann dieser eine helfende Hand benötigt.

Immer ausgefeilter werden so die Roboter. Aber wie viel Intelligenz steckt tatsächlich in ihren Schaltkreisen? „Ich persönlich tue mich schwer mit dem Begriff der Intelligenz“, sagt Torsten Kröger. Der Professor ist einer der Leiter des Instituts für Anthropomatik und Robotik sowie des Forschungslabors für Intelligente Prozessautomation und Robotik am KIT. „Denn in diesem Kontext ist er nicht wohl definiert.“

Das erste Mal taucht der Begriff „künstliche Intelligenz“ 1955 in einem Projektantrag auf. Die daraus resultierende Dartmouth Conference ein Jahr später markiert seither die Stunde null der eigenständigen KI-Forschung. Beinahe euphorisch wurde ein rasanter Fortschritt prophezeit. Tatsächlich stellten sich schnell erste Erfolge ein. Regelbasierte Expertensysteme konnten medizinische Dialoge simulieren und bei Diagnosen unterstützen, auch die aus den 1940er-Jahren stammende Idee von künstlichen neuronalen Netzen geriet ins Visier der Forscher. Doch die Sternstunde ließ noch auf sich warten.

Helfende Hand

Der Roboter ARMAR-6 soll seinen menschlichen Kollegen passendes Werkzeug reichen und erkennen, wann seine Hilfe benötigt wird. Bild: KIT

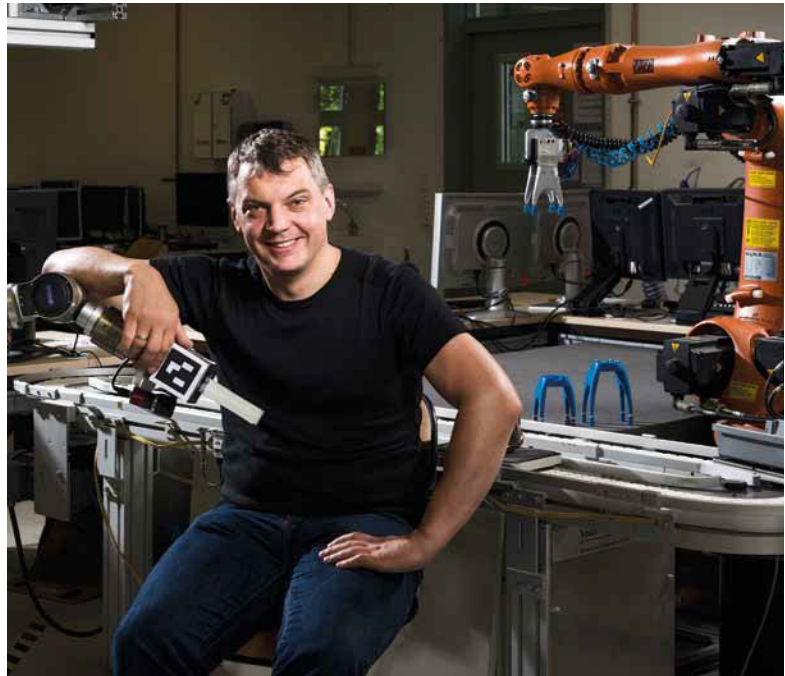


„Wenn es jedoch darum geht, dass Roboter physisch mit der Welt interagieren, da machen wir gerade die allerersten Schritte.“

„Die größten Durchbrüche auf dem Gebiet des maschinellen Lernens haben wir erst in den vergangenen Jahren erreicht“, sagt Torsten Kröger. „Und fast wöchentlich kommen neue hinzu.“ So könnten Computer Objekte auf Bildern inzwischen besser erkennen als der Mensch.

„Bei der aktuellen Entwicklung müssen wir aber zwischen zwei grundlegenden Fähigkeiten unterscheiden: der Perzeption – also der visuellen Bild- oder Spracherkennung – und der Aktuation, also dem aktiven Eingreifen in die physische Welt.“ Für den ersten Bereich, die Perzeption, haben schnelle Computer, günstige Speicher und vor allem riesige, teils frei verfügbare Datenmengen das maschinelle Lernen zum Mittel der Wahl gemacht. „Das Internet ist voll von Texten, Bildern oder Videos, die wir zum Training neuronaler Netze nutzen können.“ Vor allem dieser Datenfülle verdanken perzeptive KI-Systeme ihre hohe Leistungsfähigkeit. „Wir machen jedoch gerade erst die allerersten Schritte, wenn es darum geht, dass Roboter physisch mit der Welt interagieren“, sagt Kröger. Die Herausforderung sei weniger, einen einzelnen Roboter auf eine Laborumgebung zu trainieren, sondern ein System stabil und sicher in Alltagssituationen zu integrieren.

Dass sich die Welt auf große Fortschritte einstellen darf, da ist er sich mit den meisten seiner Kollegen einig. Tamim Asfour, der Roboterentwickler aus Karlsruhe, ist sich sicher: Seine Roboter werden in naher Zukunft nicht nur Hand in Hand



mit Servicetechnikern ihren Dienst tun, sondern auch im Haushalt helfen. Seine Vision: „Ich würde gern einen Roboteranzug, ein sogenanntes Exoskelett, bauen, das mir etwas beibringt“, verrät Asfour. „Stellen Sie sich vor, ich will Tango tanzen lernen. Dann würde sich eine KI die Fertigkeit beim besten Tangotänzer der Welt abschauen und auf das Exoskelett übertragen. Dieses führt dann meine Bewegungen, bis ich selbst perfekt tanzen kann.“

Das wäre der nächste große Schritt: Der Roboter wäre dann nicht mehr bloß Werkzeug oder gar Arbeitskollege, sondern sogar Lehrer. ◆

Kai Dürfeld

Von Google ans KIT Am KIT arbeitet Torsten Kröger am Institut für Anthropomatik und Robotik. Zuvor war er als Bereichsleiter für Robotersoftware bei Google tätig. Bild: KIT



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Die künstliche Intelligenz (KI) ist schwer zu definieren. Einig ist sich die Wissenschaft, dass die Fähigkeit zu Lernen eine Grundvoraussetzung für KI ist. Die schwache KI nutzt Computer und Algorithmen, um die kognitiven Prozesse des Menschen nachzuahmen, Muster in Bildern zu erkennen und das gesprochene Wort zu verstehen oder Text in Sprache zu verwandeln. Die starke KI versucht, Maschinen selbstständiges Denken und Verstehen beizubringen. Auf diesem Gebiet steht die Wissenschaft noch relativ am Anfang.

MASCHINELLES LERNEN

Maschinelles Lernen (Machine Learning) ist ein Ansatz, der auf die Verfügbarkeit großer Datenmengen (Big Data) baut. Dabei werden einem Computerprogramm unzählige Datensätze vorgelegt. Nach einer Trainingsphase ist es in der Lage, die erlernten Muster auch in neuen Datensätzen zu finden und einzuordnen.

Weitere Begriffe finden Sie hier: www.helmholtz.de/ki

„Technik ist immer besser als wir Menschen“

Armin Grunwald ist Physiker und Philosoph. Als Professor für Technikphilosophie und Technikethik leitet er das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Herr Grunwald, kann man bei heutigen Roboterprojekten schon von Intelligenz sprechen?

Das ist eine gute Frage. Die Antwort hängt nämlich davon ab, was man unter Intelligenz versteht, und das wissen wir ja nicht einmal beim Menschen so genau. Die vielen Definitionen haben im Kern ein gemeinsames Kriterium: die Fähigkeit, eigenständig Probleme zu lösen. Betrachtet man nur diesen Aspekt, dann könnten wir in der Tat schon von einer gewissen Intelligenz sprechen. Wahrscheinlich ist es auch falsch, Intelligenz als etwas Absolutes zu betrachten. Vermutlich ist es besser, sie sich als ein Kontinuum verschiedener Intelligenzstufen vorzustellen. Und da ist die Robotik durchaus schon ein Stück weit in Richtung Intelligenz unterwegs.

Ist künstliche Intelligenz der menschlichen in einigen Bereichen schon ebenbürtig?

Was bestimmte Problemlösestrategien betrifft, ja. Nehmen Sie zum Beispiel AlphaGo Zero. Das ist ein Algorithmus, der nicht nur das Go-Brettspiel gelernt hat, sondern auch Strategien entwickeln konnte, auf die ein Mensch niemals gekommen wäre. Da merkt man, dass KI nicht nur gleichauf mit dem Menschen ist, sondern auch schon besser. Es ist sicher nur eine Frage der Zeit, bis Roboter in immer mehr Bereichen die technische Problemlösefähigkeit des Menschen übertrumpfen werden.

KI-gesteuerte Roboter werden in Zukunft also besser sein als Menschen? Technik ist immer besser als wir Menschen, und das gilt nicht nur für KI.



„Es liegt gar nicht an der Technik, ob sie zur Chance oder zum Risiko für die Gesellschaft wird. Es liegt an unseren menschlichen Entscheidungen.“

Sonst bräuchten wir sie ja gar nicht zu erfinden. Schon eine Schaufel eignet sich viel besser zum Graben von Löchern als eine menschliche Hand. Allerdings ist dieses „besser“ immer auf eine ganz bestimmte Eigenschaft oder Fähigkeit bezogen. KI-Algorithmen sind für bestimmte Problemfälle optimiert und können diese dann besser lösen als Menschen. Aber ich nehme an, so ein Go-Algorithmus wird nicht gut schwimmen können und Gartenarbeit ist auch nicht seine Stärke. KI-gesteuerte Roboter sind als Spezialisten entworfen. Der Mensch hingegen ist ein Generalist. Und das Interessanteste: Das menschliche Wesen geht nicht allein in seiner technischen Problemlösefähigkeit auf.

Haben Sie dafür ein Beispiel?

Stellen Sie sich einen Roboter vor, der Zustelldienste übernimmt, so eine Art Briefträger. Wenn er auf dem Bürgersteig eine leblose Person antrifft, was wird er machen? Er weicht der Person aus und achtet darauf, dass er sie nicht berührt. Er umfährt das Hindernis also möglichst intelligent und führt dann seinen Auftrag weiter aus, stellt also die Post zu. Ein menschlicher Bote hingegen würde sofort seinen Dienst einstellen, sich um die Person kümmern, einen Notarzt rufen. Hier sieht man einen ganz wesentlichen Unterschied zwischen Mensch und Maschine.

Wir zeigen also Gefühle, handeln nach ethischen Prinzipien und sind uns unseres Selbst bewusst. Liegt hier die Grenze zwischen Mensch und Roboter? Ich bin nicht sicher, ob es solche Grenzen in Bezug auf Selbstbewusstsein

überhaupt gibt. Stellen wir uns einmal vor, eine künstliche Intelligenz würde plötzlich in der Ich-Form von sich sprechen und würde Gefühle zeigen. Vielleicht weint ein humanoider Roboter Tränen, weil er traurig darüber ist, dass sein Roboterkollege verschrottet wurde. Wie würden wir unterscheiden, ob eine solche Gefühlsregung echt ist? Wie könnten wir sicher sein, dass sie Ausdruck einer Persönlichkeit ist, dass er Trauer so empfindet wie wir Menschen? Die Träne könnte auch bloß anprogrammiert sein. Oder vielleicht auch an konditioniert. Vielleicht hat der Roboter beobachtet, dass Menschen in solchen Situationen auch so etwas tun. Wir haben mit Robotern einfach keine Diskursgemeinschaft. Nun haben wir zwar auch bei Menschen gelegentlich das Problem, dass sie sich verstellen, dass sie betrügen oder sich als jemand ausgeben, der sie nicht sind. Das erkennen wir auch nicht immer sofort, aber über eine gewisse Zeit hinweg haben wir dann doch Möglichkeiten, hinter die Fassade zu schauen. Bei Robotern wüsste ich nicht, wie diese Diskursgemeinschaft hergestellt werden soll.

Vielleicht ist es aber gerade die fehlende Diskursgemeinschaft, die Roboter für manche Aufgaben geradezu prädestiniert: Wo sehen sie für die nahe Zukunft solche Einsatzfelder?

Es gibt viele Bereiche, wo es gut wäre, wenn Menschen dort nicht mehr hinmüssten – der Weltraum zum Beispiel. Aber auch in unserer direkten Umwelt haben wir solche Orte: Nach Unfällen in Kernkraftwerken oder in Chemieanlagen, zum Minenräumen und so weiter. Da sind Roboter schon heute im Dienst und das ist gut. Dann gibt es Bereiche der Autonomisierung, die einfach Effizienzsteigerungen versprechen, das ist der Bereich Industrie 4.0. Der Kollege Roboter. Ein anderer Bereich ist die Verkehrssicherheit: Selbstfahrende Autos sind ja ebenfalls KI-gesteuerte Roboter. Und so ein Bordcomputer trinkt keinen Alkohol, kriegt keine schlechte Laune, wird nicht müde und auch nicht



Mein Freund, der Roboter? Auf dem Kuromon-Markt in Osaka, Japan, legt ein Mädchen seine Hand in die eines Roboters. Bild: Andy Kelly (askkell)/Unsplash

aggressiv. In so einem regelgeleiteten System hat Technik einfach Vorteile gegenüber Menschen.

Es wird ja auch darüber diskutiert, dass Roboter Ärzten bei komplexen Operationen assistieren könnten und ich bin mir sicher, dass es noch weitere Felder geben wird, in denen Roboter und KI sehr gute Dienste leisten können. Ich glaube aber auch, dass die Fortschritte der KI und der Robotik es uns Menschen ermöglichen, uns selbst besser zu verstehen. Vor allem wenn wir uns damit auseinandersetzen, wann Roboter besser sind und wann sie Menschen ersetzen können, lernen wir viel darüber, was uns als Menschen ausmacht.

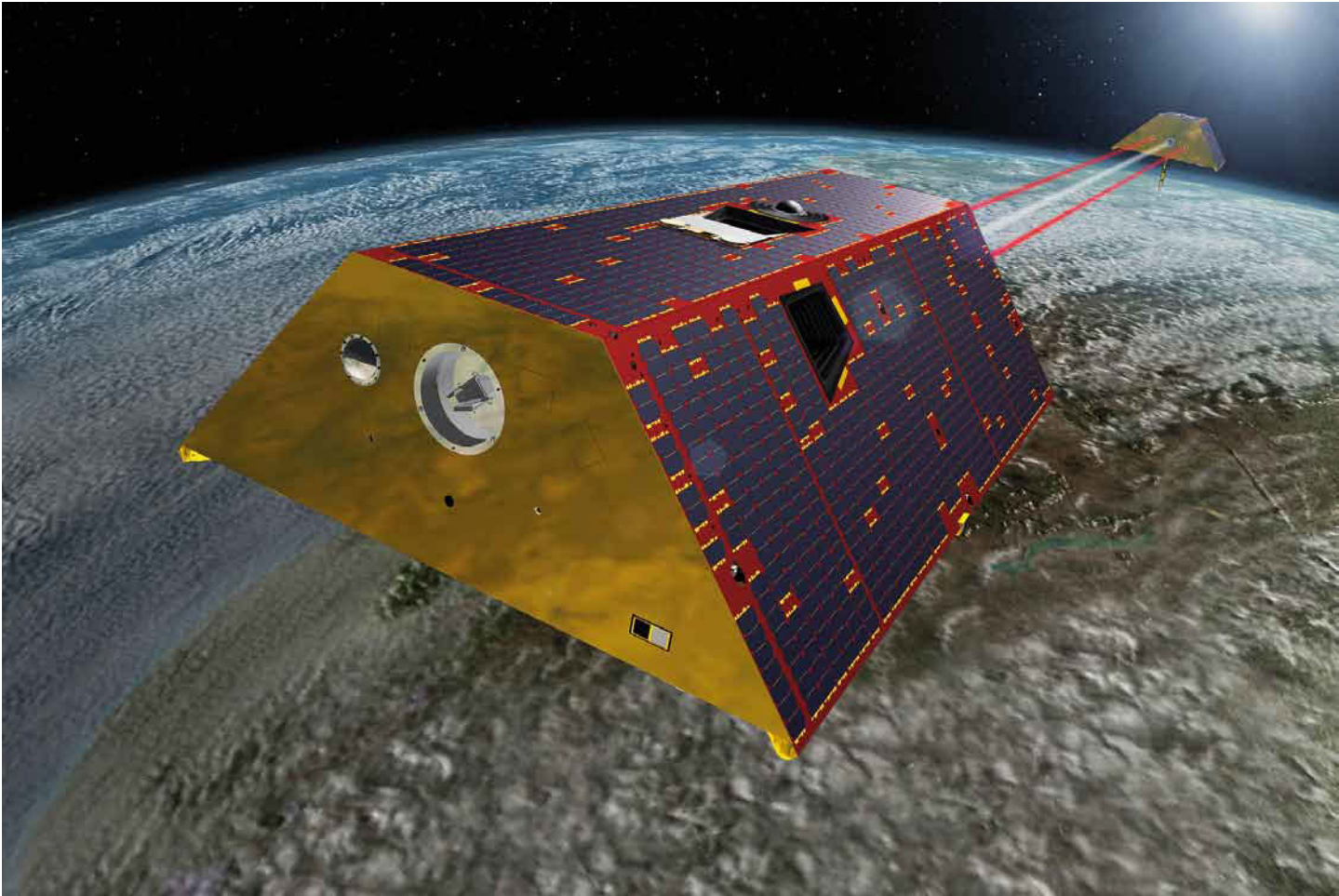
KI-gesteuerte Roboter sind also eine Chance für die menschliche Gesellschaft?

Das lässt sich schwer pauschalisieren. In jeder Entwicklung lassen sich

Chancen sehen und auch immer Risiken. Chancen sehe ich darin, dass wir Tätigkeiten abgeben können, die unangenehm, lästig oder auch gefährlich sind. Dadurch haben Menschen mehr Zeit für andere Dinge. Nehmen wir die Pflegerobotik: Würden dort einfache Aufgaben an Roboter abgegeben, hätten die Pflegekräfte mehr Zeit für die Patienten. Dann kommt aber sofort die Frage: Würden die menschlichen Pflegekräfte nicht einfach eingespart? Und genau hier zeigt sich das eigentliche Problem. Es liegt gar nicht an der Technik, ob sie zur Chance oder zum Risiko für die Gesellschaft wird. Es liegt an unseren menschlichen Entscheidungen. Es liegt daran, wie wir die Technik einsetzen und wie wir die Ressourcen verteilen. Wie diese Zukunft wird, hängt von uns ab – und nicht davon, wie die Roboter sich verhalten. ◆

Interview: Kai Dürfeld

→ HELMHOLTZ kompakt



Hoch hinaus Illustration der GRACE-FO-Satelliten über der Antarktis. Aufgrund der Erdanziehungskraft vor Ort lassen sich Rückschlüsse auf das Gewicht der Eisschilde ziehen und somit auf die Veränderung der Eismasse. Quelle: AIRBUS

Satelliten vermessen Schwerfeld der Erde

Mit Langzeitmessungen sollen zwei Satelliten zum besseren Verständnis des Klimawandels beitragen: Bei der jetzt gestarteten Satellitenmission GRACE-Follow-On umkreisen die beiden etwa drei Meter langen Satelliten die Erde 16-mal am Tag. Je nach Untergrund werden die Satelliten in rund 500 Kilometer Höhe unterschiedlich stark von der Erde angezogen. Ziel der Mission ist es, das Schwerfeld einmal pro Monat komplett zu vermessen. Grundlage der Forschung: Im Erdinneren bewegen sich glutflüssige Gesteinsmassen, Wassermassen fließen und auch die Luftmassen sind in stetiger Bewegung. Da die Anziehungskraft eines Körpers von seiner Masse abhängt, hat die ungleiche Massenverteilung auf der Erde ein ungleichförmiges Gravitations-

feld zur Folge. Informationen darüber sollen Aussagen zum Verlust von Eismassen, Meeresströmungen und Veränderungen des Grundwassers ermöglichen. „Dies erlaubt es, nicht nur aktuelle Änderungen im System Erde zu erfassen, sondern auch langfristige Trends zu identifizieren, die mitunter erst über mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte zutage treten“, sagt Reinhard Hüttl, Wissenschaftlicher Vorstand des **Helmholtz-Zentrums Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ**. Neben dem GFZ und der US-Raumfahrtagentur NASA als führende Missionspartner sind auch das **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)**, und das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik an der Mission beteiligt.



Bild: hanack/Fotolia

Bessere Lebensqualität nach Brustkrebsdiagnose

Jedes Jahr erkranken in Deutschland mehr als 70.000 Frauen an Brustkrebs. Dank großer Fortschritte in der Früherkennung und Therapie überleben rund 80 Prozent von ihnen die ersten fünf Jahre nach der Diagnose. Wissenschaftler vom **Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ)** haben nun verschiedene Aspekte der Lebensqualität von betroffenen Frauen untersucht. Ihr Ergebnis: Die Lebensqualität von Brustkrebsüberlebenden gleicht sich fünf Jahre nach der Diagnose weitestgehend wieder an die Werte der Allgemeinbevölkerung an. Während der Behandlung sind die physischen, emotionalen, sozialen und kognitiven Funktionen der Patientinnen stark eingeschränkt. „Auch wenn sie während der

Behandlung unter deutlichen Einschränkungen der Lebensqualität leiden, so klingen die belastenden Symptome doch langfristig bei der Mehrheit wieder ab“, sagt Karen Steindorf, Leiterin der Studie. Die Patientinnen litten allerdings weiterhin unter stärkeren Schlafproblemen, kognitiven Beeinträchtigungen, Erschöpfung, hormonbedingten Problemen und Gelenksbeschwerden. Die Ergebnisse sollen helfen, die Nachsorge gezielter an die Beschwerden anzupassen und zu verdeutlichen, dass Handlungsbedarf für eine bessere und längerfristige Nachsorge besteht.

Originalpublikation: Quality of Life Research 2018, DOI: 10.1007/s11136-018-1866-8

Das Geheimnis der Wellen enträtseln

Wo Wasser ist, da sind auch Wellen. Die Entstehung und Dynamik von Wellen ist bis heute jedoch rätselhaft. Der Physiker Marc Buckley vom **Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)** hat nun eine wasserfeste Laserapparatur entwickelt, mit der er die Bewegung von Wellen aufzeichnet. Damit will er ableiten, wie die Windenergie in Wellenbewegungen umgewandelt wird. Der Laser strahlt dabei die Wellen an und setzt Markierungspunkte, die von Hochleistungs-Digitalkameras erfasst werden. Die Bewegungen der Welle und auch die entstehenden Luftverwirbelungen über der Welle lassen sich so sichtbar machen. „Wir können daraus ablesen, wo und wie Energie übertragen wird und wie sich der Bewegungsimpuls der Luftströmung der Welle fortsetzt“, sagt Marc Buckley. Mit dem neuen Verfahren lassen sich wichtige Erkenntnisse zur Entstehung von Hurrikans gewinnen. Außerdem versprechen sich die Wissenschaftler Informationen, mit denen sich mathematische Klimamodelle optimieren lassen.



Aufgewühlt Wie Windenergie in Wellen umgewandelt wird, ist noch immer nicht ganz enträtselt. Bild: Ralf Weisse/HZG

Meteorit mit ältester magnetischer Signatur

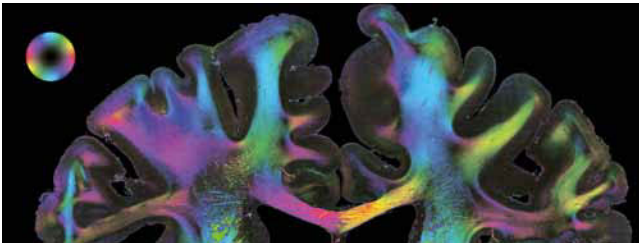


Mystisch Künstlerische Gestaltung einer Scheibe aus Gas und Staub
Bild: JPL-Caltech/NASA

Mehr als 4,5 Milliarden Jahre reiste der Meteorit Bishunpur durchs All, bevor er vor rund 100 Jahren in Indien auf die Erde stürzte. Ein internationales Forscherteam konnte nun zeigen, dass der Meteorit die älteste bislang bekannte magnetische Aufzeichnung in sich trug. Sie stammt aus der Frühphase des Sonnensystems. Dazu untersuchten die Forscher mithilfe von Elektronenmikroskopen des Ernst Ruska-Centrums am **Forschungszentrum Jülich** winzige Einschlüsse aus Eisenkörnchen, die sich in millimetergroßen Schmelzkügelchen im Inneren des Meteoriten befanden. Dieses magnetische Feld könnte eine der treibenden Kräfte dafür gewesen sein, dass sich das frühe Sonnensystem in einer – astronomisch gesehen – atemberaubend kurzen Zeitspanne von wenigen Millionen Jahren aus einer Scheibe aus Gas und Staub entwickelt hat.

Originalpublikation: Nature Communications 9 (2018) 1173

Human Brain Project startet in nächste Phase



Sichtbar gemacht Das Polarized Light imaging (3D-PLI) zeigt mikroskopisch genau Nervenfaserbahnen. Bild: Markus Axer/Forschungszentrum Jülich

88 Millionen Euro hat die Europäische Kommission für die zweite Phase des Human Brain Projects bewilligt, die bis März 2020 geplant ist. Das vor fünf Jahren gestartete Projekt ist mit rund 500 beteiligten Forschern aus 19 EU-Ländern eines der weltweit größten neurowissenschaftlichen Forschungsvorhaben. Nachdem in der ersten Phase eine neuartige, computergestützte Hightech-Forschungsinfrastruktur aufgebaut wurde, geht es jetzt darum, die sechs Technologieplattformen zusammenzuführen. „Die immense Komplexität des Gehirns hat zu sehr engen Spezialisierungen und einer gewissen Fragmentierung der Hirnforschung geführt. Die Integration in ein zusammenhängendes Bild des Gehirns wird immer schwieriger“, sagt Katrin Amunts vom **Forschungszentrum Jülich**, die dem zentralen wissenschaftlichen Lenkungsgremium vorsitzt. Da setzt das Projekt jetzt an.

Umweltpreis für Helmholtz-Forscher



Preisträger Manfred van Afferden, Roland A. Müller, Mi-Yong Lee, Wolf-Michael Hirschfeld und Antje Boetius Bilder: André Künzelmann/UFZ, Kerstin Rolfes

Den mit 500.000 Euro dotierten Deutschen Umweltpreis teilen sich dieses Jahr die Meeresbiologin Antje Boetius, Leiterin des **Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)** sowie ein interdisziplinäres Abwasser-Expertenteam aus Leipzig mit Roland A. Müller, Manfred van Afferden, Mi-Yong Lee (alle **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**) und Wolf-Michael Hirschfeld. Antje Boetius wird für ihren Einsatz als Fürsprecherin des nachhaltigen Umgangs mit den Meeren und Polarregionen ausgezeichnet. Das Leipziger Team erhält den Preis für die Entwicklung dezentraler Abwasser-systemlösungen in Jordanien. Der Deutsche Umweltpreis wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt am 28. Oktober 2018 durch Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier übergeben. ◆

Nathalie Houdelet & Annette Doerfel

Anzeige

jugend  **forscht 2019**
 schüler experimentieren

Frag Dich.

Bis 30.11.2018 anmelden auf www.jugend-forscht.de



Erst lesen, dann hören



Künstliche Muskeln für Roboter, autonome Maschinen für den Haushalt oder die Pflege sowie Mini-Helfer im menschlichen Körper – darüber spricht der Biomaterialforscher Andreas Lendlein vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) in **Folge 135 des Resonator-Podcasts**.

Das Prinzip ist ähnlich wie bei Schrumpffolien oder -schläuchen, die sich bei Hitze zusammenziehen: Forscher arbeiten an Polymeren – speziellen Kunststoffen – deren Formgedächtnis programmiert werden kann. Ändert sich die Temperatur oder etwa ein Magnetfeld, bewegen sie sich. Dadurch werden Fäden möglich, die sich selbst verknoten können – ein Meilenstein für die Chirurgie.

Wer jetzt schon an Science-Fiction denkt, der sollte sich den Podcast mit Andreas Lendlein vom **Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)** anhören. Lendlein leitet das Institut für Biomaterialforschung in Teltow – und hält sich in seiner Forschung mit den selbstverknotenden Fäden gar nicht länger auf, denn die gibt es schon seit einigen Jahren. Seine aktuelle Heraus-

forderung: „Man kann Maschinen bauen, mit denen bestimmte Formänderungen immer und immer wieder durchgeführt werden können.“ Dies wird durch eine Wiederholung des Signals ermöglicht, wodurch die Materialien mit ihrer fortlaufenden Bewegung zu sogenannten „weichen Aktuatoren“ werden.

Denkbare Anwendungen gibt es viele: Die Polymere könnten etwa wie eine Art künstlicher Muskel in Robotern fungieren, die vor allem aus Kunststoffen und anderen weichen Materialien gebaut werden. In diesem Forschungsfeld, das „Soft Robotics“ heißt, könnten Hilfsroboter für den Haushalt, die Pflege, die Industrie oder auch für die Medizin entwickelt werden. „Wenn in Rohrsystemen Reparaturen zu erledigen sind, könnte man sich

beispielsweise einen schwimmenden Soft Robot vorstellen“, erklärt Andreas Lendlein. Oder Flugzeuge, die ihre Tragflächenform nach dem Start verändern, sodass sie energiesparender gleiten. Vorstellbar sind auch Mini-Roboter, die im menschlichen Körper unterwegs sind und so Ärzte unterstützen. Der Resonator-Podcast liefert also Material, das nicht nur die Herzen von Science-Fiction-Fans höherschlagen lässt. ◆

Elena Hungerland



AUDIO

Mehr Wissenschaft auf die Ohren gibt es hier:

→ www.helmholtz.de/resonator-135

Ein knappes Gut

Wassermangel wird auf vielen Kontinenten zu einem drängenden Problem. Forscher entwickeln jetzt Modelle, mit denen sie vorhersagen können, wie viel Wasser in welcher Region zur Verfügung stehen wird – und sie überlegen, wie es sich am besten einsetzen lässt.



ONLINE

Tagesaktuelle Grafiken zur Trockensituation in Deutschland finden Sie unter:

→ www.ufz.de/duerremonitor



In diesem Sommer war das Ächzen in Deutschland unüberhörbar: zu wenig Niederschläge, schwierige Bedingungen für Landwirte und Gartenfreunde. Der Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig belegt in der Tat, dass die Böden in vielen Regionen Deutschlands ungewöhnlich trocken waren – „moderate“ bis „außergewöhnliche“ Dürre nennen die Forscher diesen Zustand. Im Normalfall lässt sich aber mit dem Wasser, das in Deutschland zur Verfügung steht, gut haushalten.

Der Hydrologe Sergiy Vorogushyn vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum GFZ schaut in seiner Forschung auf eine Region, in der das anders ist: In Zentralasien ist Wasser ein knappes Gut. Dazu kommt eine natürliche Schwankung der Wassermenge zwischen schnee- und regenreichen sowie trockenen Jahren. Die Wissenschaftler suchen Antworten auf die Frage, die vor allem die Energie- und die Land-

wirtschaft umtreibt: Wie viel Wasser ist wann und wo genau vorhanden? „Um das zu erfassen, haben wir selbst im entlegenen Hochgebirge Messstationen installiert, mit denen wir präzise Klimadaten erheben können“, sagt Sergiy Vorogushyn: „Es galt, das Monitoring in der Region zu modernisieren und auszubauen, um eine bessere Datenbasis zu haben.“ Seit 2008 schon untersucht er mit zentralasiatischen Partnern im CAWa-Projekt („Water in Central Asia“) den Wasserhaushalt von Kasachstan, Kirgistan, Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan.

Die Wissenschaftler beobachten auch Auswirkungen von Klimaveränderungen. „Wir konnten etwa nachweisen, dass 27 Prozent der regionalen Gletschermasse in den vergangenen 50 Jahren verschwunden sind. Es kommt zu großen Unterschieden im Wasserhaushalt zwischen den Jahren, und es wird schwierig, dies auszugleichen.“ Klar zu beobachten sei auch,



dass es in der zweiten Sommerhälfte zunehmend trockener wird. Dies stelle die Region vor große Herausforderungen, denn in Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan sind bis zu 90 Prozent der Landwirtschaft von künstlicher Bewässerung abhängig. „Erschwert wird die Situation dadurch, dass die traditionelle Landwirtschaft in der Region mit dem Anbau von Baumwolle und Reis zu viel Wasser benötigt“, so Sergiy Vorogushyn. Außerdem seien die Bewässerungssysteme ineffizient und manches Wasser komme gar nicht erst an. Partner von der Universität Würzburg analysieren mit ihren satellitenbasierten Fernerkundungsmethoden daher auch bewässerte Flächen.

„Wassermanagement ist eine Daueraufgabe und erfordert langfristige Planung und Finanzierung.“

Worauf kommt es vor allem an? „In der Region ist eine gute Wasserwirtschaft wichtig, und dafür sind Entscheidungsträger auf Vorhersagen angewiesen“, sagt der Hydrologe. Eine Besonderheit sei, dass aus Kirgistan und Tadschikistan große Teile des Wassers für die ganze Region stammen. Dort befinden sich Gletscher und Schneespeicher, von denen aus während der Schmelzperiode das Wasser in die tiefer gelegenen Regionen fließt; zudem entspringen in den Ländern mehrere Flüsse. Vor dem Zusammenbruch der Sowjetunion regelten Quoten die Wasserverteilung zwischen den sogenannten Ober- und Unterliegerstaaten, heute verhandeln die Länder die Verteilung untereinander. „Wir fokussieren uns zwar auf wissenschaftliche Fragestellungen“, sagt Vorogushyn, „jedoch unterstützt unser statistisches Wasservorhersagemodell auch den politischen Dialog.“ Ein klassischer Verhandlungskonflikt: Beim Betrieb von Wasserwerken gibt es zwei Varianten. Wenn Wasser im Herbst gespeichert wird, lässt es sich im Winter zur Energieerzeugung nutzen. Wird es im Frühjahr gesammelt, kann es im Sommer der Landwirtschaft zugute kommen. „Vier der Staaten nutzen unser Modell in ihren hydrometeorologischen Diensten. Dadurch haben sie eine einheitliche Datenbasis, wenn sie prognostizieren, wie viel Wasser in der nächsten Vegetationsperiode verfügbar ist. So gibt es weniger Missverständnisse am Verhandlungstisch.“

„Wassermanagement ist eine Daueraufgabe und erfordert langfristige Planung und Finanzierung“, so fasst es Dietrich Borchardt zusammen, Leiter des Themenbereichs Wasserressourcen



Modellregion Probenentnahme im Fluss Kharaa in der Mongolei Bilder: André Künzelmann/UFZ



Wassertransport Am Rand der mongolischen Städte verfügt die Mehrheit der Einwohner weder über einen Trinkwasser- noch über einen Abwasseranschluss.

und Umwelt am UFZ. Auch er ist in Zentralasien aktiv, vornehmlich in der Mongolei. „Neben der quantitativen Wasserknappheit gibt es auch die qualitative Knappheit, das ist sicherlich der unbekanntere Trend“, sagt Dietrich Borchardt. Laut der Umweltschutzorganisation WWF haben weltweit über 780 Millionen Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und 2,6 Milliarden Menschen leben ohne grundlegende Sanitäreinrichtungen.

Borchardt betont, dass der Kontakt mit kontaminiertem Wasser, aber auch die zunehmende Versalzung große Probleme seien. Weltweit →



Pilotanlage In Fuheis (Jordanien) werden seit 2010 unterschiedliche dezentrale Technologien zur Abwasserreinigung getestet. Bilder: André Künzelmann/UFZ

fließen 80 Prozent des Abwassers unbehandelt wieder in die Ökosysteme zurück, schätzt die UNESCO. Verschärft wird die Situation durch das Bevölkerungswachstum. „Wir rechnen damit, dass sich die Abwasserproduktion in den nächsten 30 Jahren verdoppeln wird. Das macht die Sammlung und Aufbereitung von Abwasser so wichtig, mindestens genauso wichtig wie den Anschluss an Trinkwasser selbst“, sagt Borchardt.

Genau dieser Aspekt des Wassermanagements wird in einer anderen Region, in Jordanien, greifbar. Auch hier ist das Wasser knapp, das Land hat ein semiarides – also sehr trockenes – Klima und gehört zu den wasserärmsten Ländern der Welt. Es wird mehr Grundwasser verbraucht als neu hinzukommt, und so sinkt der Grundwasser-

spiegel im Durchschnitt um einen Meter pro Jahr – seit 2015 sogar um 15 Meter pro Jahr. Versalzung droht.

Seit mehr als zehn Jahren arbeitet Roland A. Müller in Projekten an einem „integrierten Wasserressourcenmanagement“ für Jordanien. Müller leitet am UFZ das Umwelt- und Biotechnologische Zentrum und hat einen technikorientierten Blick auf die Wasserknappheit. „In Ländern wie Jordanien ist es besonders wichtig, das wenige vorhandene Wasser integriert zu bewirtschaften. Und dabei spielt auch das Abwasser eine wichtige Rolle“, sagt er. Dafür müssen verschiedene Sektoren ineinandergreifen: Wasser, Gesundheit, Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft. Roland A. Müller plädiert für naturbasierte Bodenfiltersysteme und generell für ein dezentrales Abwassermanagement – für Kläranlagen, die für bis zu 5.000 Einwohner ausgelegt sind. „Die Vorteile einer Kläranlage vor Ort sind, dass keine weiten Transportwege des Abwassers nötig sind und dass Investitionen nicht großteils für teuren Kanalbau verbraucht werden.“

„Gerade der Grundwasserschutz hat uns viele Türen für die Zusammenarbeit mit der Politik geöffnet.“

Die schnell wachsenden Städte in Jordanien kommen mit der Entwicklung von Infrastrukturen zur Wasserversorgung kaum hinterher. Bei Projektbeginn 2006 hatte das Land etwa fünf Millionen Einwohner. Heute sind es – mit den Menschen, die aus Syrien geflüchtet sind – etwa doppelt so viele. Zudem ist Jordanien von Bergen zerklüftet, was den Wassertransport erschwert. Und im länd-



lichen Bereich ist die Abwasserentsorgung nicht ans Kanalnetz gebunden, sondern funktioniert vor allem über Sickergruben – aufgrund der durchlässigen Karstböden gelangt das Abwasser oft unbehandelt direkt ins Grundwasser.

Diese Probleme gehen die Wissenschaftler an: „Ein dezentrales System lässt sich lokal schnell aufbauen und erlaubt flexibel auf die Dynamik des Bevölkerungswachstums zu reagieren“, sagt Müller. Es stehe außerdem mehr Wasser für die Landwirtschaft zur Verfügung, denn statt Frischwasser könne auf den Feldern wiederaufbereitetes Wasser genutzt werden. Schließlich werde das Grundwasser vor ungereinigtem Abwasser geschützt. „Gerade der Grundwasserschutz hat uns viele Türen für die Zusammenarbeit mit der Politik geöffnet.“ So mündete die Arbeit auch in ein politisches Rahmenwerk zum dezentralen Abwassermanagement für Jordanien.

Wo aber ist der Bau einer Abwasseranlage am sinnvollsten? Wo muss durch neue Abwasser-systeme Grundwasser geschützt werden? Ein Planungstool mit dem Namen ALLOWS soll Behörden, Stadtverwaltungen und Unternehmen die Entscheidungsfindung erleichtern. Neben topografischen, hydrologischen und technischen Daten fließen dort auch sozioökonomische Informationen ein. Verschiedene Szenarien für zentrales und dezentrales Abwassermanagement erlauben den Entscheidern, die nötigen Mittel zu vergleichen und integrierte Abwassersysteme zu implementieren. Müller bilanziert: „Mit einem überschaubaren Einsatz von Technik lässt sich auch unter schwierigen Rahmenbedingungen sehr viel erreichen.“ ◆

Kristine August



Wissenstransfer Mit Aus- und Weiterbildungsprogrammen wurden die Verantwortlichen vor Ort zur Umsetzung der entwickelten Verfahren befähigt.

DEUTSCHER UMWELTPREIS 2018

Das Forscherteam des UFZ-Departments „Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum“ mit Roland A. Müller, Manfred van Afferden und Mi-Yong Lee erhält Ende Oktober gemeinsam mit Wolf-Michael Hirschfeld, dem Initiator des „Bildungs- und Demonstration-zentrums für dezentrale Abwasserbehandlung in Leipzig“ den **Deutschen Umweltpreis 2018**. Das interdisziplinäre Expertenteam hat neuartige Systemlösungen zur dezentralen Abwasserreinigung in einem schwierigem politischen Umfeld entwickelt, konsensfähig gemacht und in die Praxis umgesetzt.

→ www.helmholtz.de/umweltpreis



Wasserknappheit Bewässerungskreise im Nahen Osten. Hohes Bevölkerungswachstum lässt die Nachfrage nach nutzbarem Wasser stetig steigen.

Muss die Wissenschaft einen Nutzen für die Menschen haben?

Jedes Jahr fließen viele Milliarden Euro an Steuergeldern in die Wissenschaft. Aber ist sie deshalb verpflichtet, einen Nutzen für die Allgemeinheit zu haben? Oder sollte die Wissenschaft rein von Neugier getrieben sein? Zwei Blickwinkel.



Ranga Yogeshwar

Autor und Wissenschaftsjournalist



ONLINE

Eine längere Version des Kommentars von Ranga Yogeshwar gibt es unter diesem Link:

→ www.helmholtz.de/yogeshwar



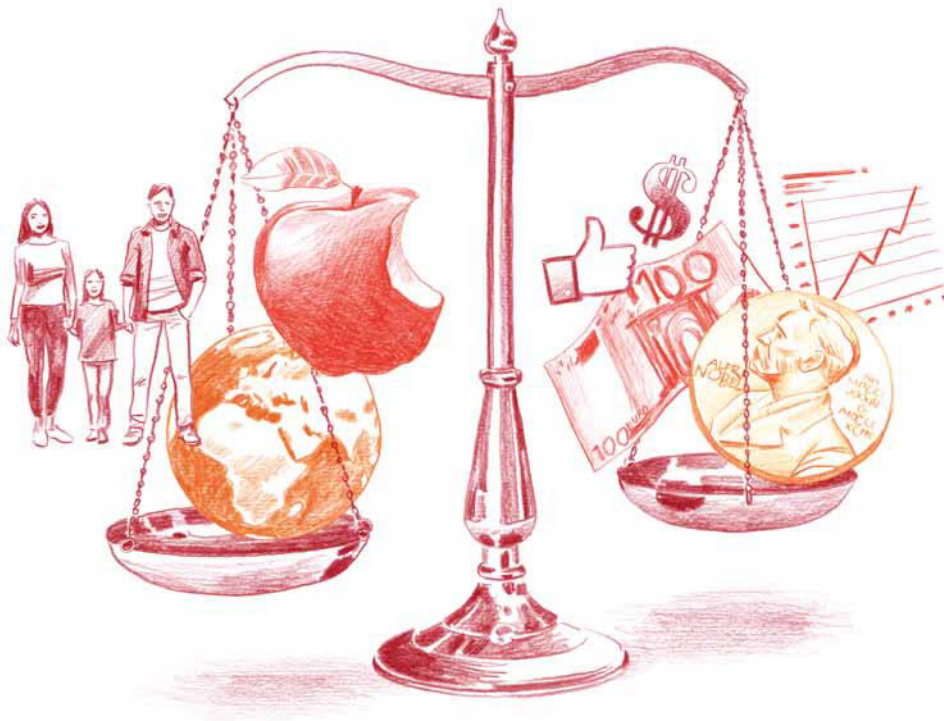
„Unsere Neugier sollten wir nicht dem Nutzen opfern.“

Neue Behandlungen gegen Krebs, die Erforschung erneuerbarer Energien, eine florierende Wirtschaft – ohne wissenschaftliche Erkenntnis wäre all dies und vieles mehr nicht möglich. Diese Auffassung trifft hierzulande auf breite Zustimmung. Und doch greift sie zu kurz. Denn sie operiert ausschließlich mit dem Nutzwert von Wissenschaft. Wer wissenschaftliche Neugier und den tiefen Drang, diese Welt besser zu verstehen, auf ökonomische Kategorien reduziert, der begeht einen gravierenden Fehler. Unsere Neugier sollten wir nicht einem solchen Verständnis von Nutzen opfern.

Die Übersetzung altägyptischer Hieroglyphen wird wohl kaum das Bruttosozialprodukt steigern. Aber ist diese Wissenschaft nicht dennoch großartig? Sie versucht das Puzzle einer einstigen Hochkultur zu lösen und erweitert unser Verständnis der Vergangenheit. Auch bei der Erforschung der Eigenschaften des Higgs-Bosons oder dem Nachweis von Gravitationswellen gibt es kein ökonomisches „return on investment“ – so wie in vielen anderen wissenschaftlichen Bereichen auch. Seit Jahrzehnten beobachte ich eine Wissenschaftslandschaft, die ihre innere Triebfeder, nämlich Neugier und Erkenntnisgewinn, nach außen mit utilitaristischen Argumenten zu legitimieren sucht. Warum?

Unsere Gesellschaft hat mit der Zeit eine Krämerdenke übernommen – und so übersehen wir die Schönheit der wissenschaftlichen Welt. Mehr noch, wir zerstören ihre Grundlagen: Offenheit und freien Austausch. Ist es nicht an der Zeit, dass die Wissenschaft mit Selbstbewusstsein und Leidenschaft einen Kontrapunkt setzt zu der Eindimensionalität ökonomischer Perspektiven? Und ist es nicht ihre Pflicht, auch für jene Inhalte einzutreten, die sich womöglich nicht lohnen im rein monetären Sinn und trotzdem dem Gemeinwohl und unserer Zivilisation dienen? Wo wird in der Wissenschaft derzeit kritisch über Algorithmen oder über die Auswertung von Big Data diskutiert? Wo sehen wir den wünschenswerten reflektierten Fortschritt, der beides tut: Potenziale zu destillieren, aber auch rote Linien zu ziehen?

Ich wünsche mir Wissenschaftler, die sich nicht am Markt orientieren, sondern einer verunsicherten Gesellschaft vernünftige und unabhängige Orientierungshilfen anbieten. Diese aufklärerische Stimme ist wichtiger denn je, denn der wahre Mehrwert der Wissenschaft liegt für unsere Gesellschaft nicht in ihrem ökonomisch verwertbaren Output, sondern in ihrer selbstbewussten Unabhängigkeit – und in ihrem freien und mitunter befreienden Denken. ◆



„Es geht darum, eine Balance verschiedener Motive zu erhalten.“

Erkennnisgewinn, die pure Lust daran, Neues zu entdecken, die Welt besser zu verstehen – das ist ein entscheidendes Motiv für zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Dies ebenso kritisch wie ergebnisoffen zu tun, ist für viele von uns die entscheidende Antriebskraft dafür, Wissenschaft zu betreiben. Hier geht es um Erkenntnis um ihrer selbst willen, um Aufklärung und die Suche nach Wahrheit.

Daneben – oder in vielen Fällen zusätzlich – gibt es andere Motive, zu forschen: Wir wollen beispielsweise in der Medizin dazu beitragen, bestimmte Krankheiten besser zu verstehen und erfolgreich zu behandeln. Wir untersuchen das Klima unserer Welt, um Beiträge zu ihrem Schutz zu leisten. Oder wir wollen herausfinden, wie künstliche Intelligenz ganz konkret unseren Alltag verändert und Cyber Security unser digitales Leben sicherer macht. Hier ist die Motivation dafür, Forschung zu betreiben, mit einem weiteren, konkreten Ziel verbunden – mit einem Nutzen für die Menschen.

Natürlich darf Wissenschaft nicht darauf reduziert werden, immer einen augenscheinlichen gesellschaftlichen Nutzen zu haben. Doch gleichzeitig müssen wir uns auch fragen: Liefern wir das, was die Gesellschaft von uns erwartet, wofür wir aus Steuermitteln finanziert werden? Forschen wir in ausreichendem Maße auch an dem, was gesell-

schaftlich relevant ist? Und tun wir genug, um das, was Wissenschaft leistet, und das, was sie nicht leisten kann, ausreichend zu kommunizieren?

Beide Motivationsquellen sind in meinen Augen legitime Anliegen, um wissenschaftlich zu arbeiten. Forscherinnen und Forscher, die mit ihrer Arbeit einen Nutzwert für die Gesellschaft erbringen wollen, suchen die konkrete Anwendung. Die Gesellschaft, wir alle, profitieren davon, indem wir eine bessere Medizin erhalten, Mobilität aus erneuerbaren Energien oder Roboter, die uns unliebsame Aufgaben abnehmen.

Dabei müssen wir allerdings immer im Auge behalten, dass von Neugier getriebene und auf fundamentale Erkenntnisse ausgerichtete Grundlagenforschung ein entscheidender Impulsgeber für mögliche Anwendungen ist. Ohne sie wird es letztlich auch keine echten Innovationen geben.

Wie also passt das alles zusammen? Bei der Frage nach dem Nutzen von Wissenschaft geht es darum, dass beides möglich ist und möglich bleibt, dass wir eine Balance der verschiedenen Motive bewahren. Ebenso wenig wie wir die Anwendbarkeit von Wissen ignorieren sollten, sollten wir uns ausschließlich von einem Verwertbarkeitsgedanken leiten lassen. Erst ein vielfältiges Nebeneinander kreiert eine lebendige, produktive Wissensgesellschaft. ◆



Otmar D. Wiestler
Präsident der
Helmholtz-Gemeinschaft

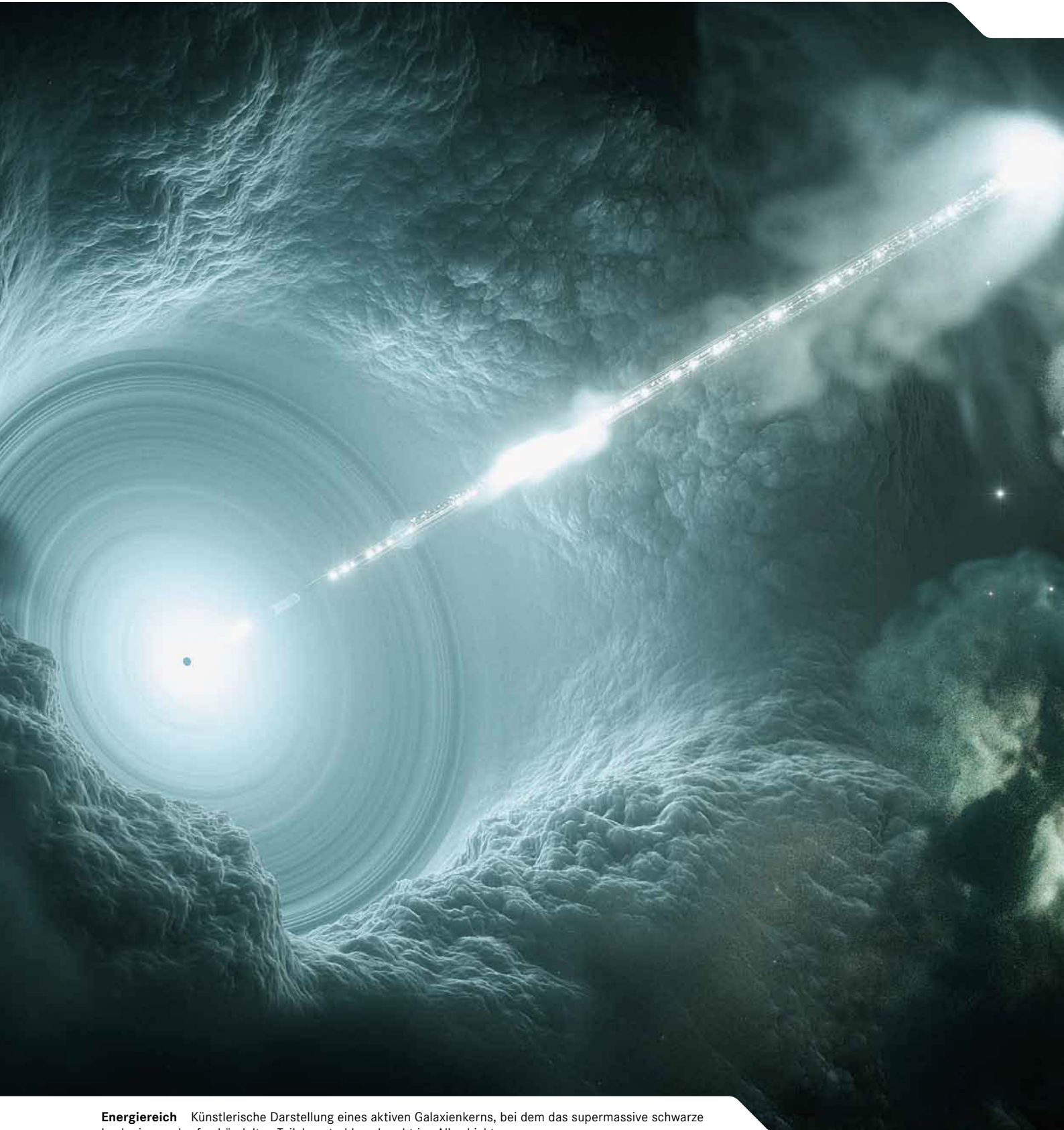


ONLINE

Diskutieren Sie mit uns
unter dem folgenden
Link über den Wert der
Wissenschaft:

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





Energereich Künstlerische Darstellung eines aktiven Galaxienkerns, bei dem das supermassive schwarze Loch einen scharf gebündelten Teilchenstrahl senkrecht ins All schickt.
Bild: Science Communication Lab/DESY

Die Superstars der Teilchenphysik

Forscher spüren dem Rätsel der Neutrinos nach – und kommen dabei mehr als 60 Jahre nach deren Entdeckung allmählich einem der größten Rätsel der Naturwissenschaften auf die Spur.

Was große Experimente in der Physik angeht, stiehlt der Teilchenbeschleuniger LHC am Europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf seit der Entdeckung des Higgs-Teilchens allen die Show. Doch auch andere, ebenfalls riesige Forschungsanlagen halten die Physik mit ihrer Suche nach einem unscheinbaren Elementarteilchen in Atem: dem Neutrino.

Guido Drexlin, Teilchenphysiker am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), sagt: „Im Zoo der uns bekannten Elementarteilchen sind Neutrinos die viel beachteten Superstars, die in ihrer Bedeutung für unser modernes Weltbild Quarks und Co. weit in den Schatten stellen.“ Die jüngere Geschichte gibt ihm recht: In den vergangenen 30 Jahren gingen ganze vier Physik-Nobelpreise an die Neutrinforschung.

Dabei sind diese Superstar-Teilchen ausgesprochen schwer zu fassen. Es liegt in ihrer Natur, kaum mit dem Rest des Universums zu interagieren: Sie besitzen keine elektrische Ladung und kein magnetisches Moment. Auch die Kernkräfte der Atome lassen Neutrinos kalt. Selbst ihre theoretische Schwerkraftwirkung wäre irrelevant klein. Damit bleibt von den vier Grundkräften, welche die Physik heute kennt, nur die schwache Wechselwirkung. Und die ist genau das: schwach.

Eine Vorahnung davon hatte schon der Vater des Neutrinos, Quantenphysik-Pionier Wolfgang Pauli. Er war um 1930 einem Rätsel auf der Spur: Beim Zerfall von Atomkernen schien ein Teil der Energie, die dabei frei wird, stets zu verschwinden. Dass Derartiges nicht passieren kann, ist jedoch einer der wichtigsten Grundsätze der Physik. Sein nach eigener Aussage verzweifelter Ausweg: ein noch unbekanntes Teilchen, das die fehlende Energie davonträgt.

Paulis Ausweg blieb eine reine Vermutung, bis das Neutrino Mitte der 1950er-Jahre erstmals in einem groß angelegten Experiment nachgewie-

sen wurde. Pauli erfuhr wenige Jahre vor seinem Tod per Telegramm von der Entdeckung. Seitdem brachte die aufwendige Erforschung der sogenannten Geisterteilchen immer neue Überraschungen ans Licht. „Erst seit knapp zwei Jahrzehnten wissen wir, dass Neutrinos – entgegen früheren Vorhersagen der Teilchenphysiker – überhaupt eine Ruhemasse besitzen“, berichtet Guido Drexlin vom KIT.

Dort, in Karlsruhe, wollen die Neutrinforscher nun mit einem neuen Experiment dem noch unbekanntem Wert der Neutrinomasse auf den Grund gehen. Im Juni 2018 konnte nach 15 Jahren Bauzeit endlich das KATRIN-Experiment in Betrieb gehen. Es untersucht den radioaktiven Zerfall einer bestimmten Variante des Elements Wasserstoff, genauer gesagt den Beta-Zerfall von Tritium. Damit setzt KATRIN genau dort an, wo Wolfgang Pauli vor fast 100 Jahren dem Neutrino erstmals auf die Spur kam.

Das Prinzip der Messung basiert auf der berühmten Formel $E=mc^2$ aus Albert Einsteins Spezieller Relativitätstheorie. Die gesuchte →



Beeindruckend Blick ins Innere des riesigen KATRIN-Vakuumtanks Bild: Michael Zacher



Passgenau Der 200 Tonnen schwere, 24 Meter lange und 10 Meter breite Vakuumentank für KATRIN wurde 2006 präzise durch Leopoldshafen zum KIT-Campus Nord transportiert.
Bild: Markus Breig/KIT

Neutrinomasse entspricht demnach dem „Energie-Fehlbetrag“ der Zerfallsprodukte – in diesem Fall Elektronen. Aus der Suche nach der Neutrinomasse wird so die genaue Vermessung der Elektronenenergie. Der Aufwand ist gewaltig: Für KATRIN wurde der größte Ultrahochvakuum-Behälter der Welt gebaut, in dem Spektrometer zum Einsatz kommen.

Guido Drexlin vom KIT kann die ersten Messungen kaum erwarten: „Der Weg war voller Herausforderungen. Jetzt stehen wir am Start und freuen uns auf spektakuläre und überraschende KATRIN-Resultate, in guter Tradition der Neutrinophysik der zurückliegenden Jahrzehnte.“

Neutrinophysiker gehen davon aus, dass jeder Quadratzentimeter der Erdoberfläche pro Sekunde von 100 Milliarden Neutrinos durchflogen wird.



VIDEO

Hier gibt es ein Video zu KATRIN:

→ www.helmholtz.de/katrin



Am anderen Ende der Welt bejubelte kürzlich schon das Team eines weiteren Neutrinoexperimentes ein spektakuläres Messergebnis: Der IceCube-Detektor am Südpol registrierte ein außergewöhnlich energiereiches Neutrino aus den Tiefen des Weltalls. IceCube beobachtet in mehreren Kilometern Tiefe mit 5.000 hochempfindlichen Kameras das Dunkel des ewigen Eises. Dort registrieren sie Lichtblitze, die auf Zusammenstöße von Neutrinos mit Atomkernen im Eis hindeuten. Dabei können nämlich geladene

Teilchen namens Myonen entstehen, die schneller fliegen als das vom Eis gebremste Licht. Den resultierenden „Überschallknall des Lichts“, die sogenannte Tscherenkow-Strahlung, fangen die Kameras ein.

Dass IceCube einen ganzen Kubikkilometer Antarktiseis überwacht, unterstreicht die Herausforderungen der Neutrinophysik. Neutrinos sind nämlich eigentlich alles andere als selten: Sie entstehen in unvorstellbarer Zahl bei Fusionsreaktionen in der Sonne sowie durch natürliche Radioaktivität auf der Erde. Neutrinophysiker gehen davon aus, dass jeder Quadratzentimeter der Erdoberfläche pro Sekunde von 100 Milliarden Neutrinos durchflogen wird.

Doch reaktionsfaul, wie sie sind, treten die Neutrinos dabei praktisch niemals in Erscheinung. Ihre überwältigende Mehrheit fliegt ohne jede Reaktion durch die gesamte Erde hindurch. Forscher können nur dann einige wenige von ihnen nachweisen, wenn sie riesige Mengen Reaktionsmasse mit hochempfindlichen Instrumenten überwachen – wie zum Beispiel einen Kubikkilometer Eis mit 5.000 Spezialkameras.

Dabei geht es den IceCube-Forschern nicht nur um die Neutrinos von der Sonne. Sie sind auf der Jagd nach energiereicheren, aber viel selteneren Neutrinos von außerhalb des Sonnensystems. Kai Zuber von der Technischen Universität Dresden ist nicht an IceCube beteiligt, aber forscht seit Jahrzehnten an verschiedenen großen Neutrinoexperimenten. „Der Traum der Neutrino-Astrophysik ist eine Karte aller Neutrinoquellen am Himmel“, erklärt er. „Neutrinos sind, neben Gravitationswellen, die einzigen Botschafter, die ohne jede Ablenkung den direkten Weg von ihrer Quelle zu uns nehmen. Licht kann durch Gas oder Staub gestreut werden und geladene Teilchen von Magnetfeldern abgelenkt.“ Neutrinos zeigten hingegen direkt auf die Orte im All, an denen ultrahochenergetische Teilchen entstehen. Welche Orte das sind und was genau dort vor sich geht, wird immer noch lebhaft debattiert.

Eine solche Ultrahochenergie-Quelle zu identifizieren, könnte nun dank IceCube erstmals gelungen sein. Am 22. September 2017 löste die Station am Südpol einen Alarm aus, nachdem ein besonders energiereiches Neutrino beobachtet wurde. Daraufhin suchten ganze 16 Großgeräte am Himmel nach der möglichen Quelle, darunter vier Weltraumteleskope, das Cherenkov-Teleskop H.E.S.S. in Namibia (s. Helmholtz Perspektiven, Februar 2018) und VLA, eines der größten Radioteleskope der Welt.



Aufgereiht Insgesamt 5.160 digitale optische Module (DOM) hängen bei IceCube an 86 Stahlrossen in rund einem Kubikkilometer Eis. Illustration: Jamie Yang/The IceCube Collaboration

Die gemeinschaftliche Beobachtung lieferte tatsächlich eine wahrscheinliche Quelle: den Blazar TXS 0506+056. Dabei handelt es sich um die turbulente, stark aufgeheizte Umgebung des schwarzen Lochs im Zentrum einer mehrere Milliarden Lichtjahre entfernten Galaxie. „Das ist ein Meilenstein für das junge Feld der Neutrino-Astronomie“, sagt Marek Kowalski, einer der beteiligten Forscher und Leiter der Neutrino-Astronomie am DESY. „Mehr als ein Jahrhundert nach der Entdeckung der kosmischen Strahlung durch Victor Hess im

Jahr 1912 hat IceCube damit erstmals eine konkrete extragalaktische Quelle der energiereichen Teilchen geortet.“

Ist damit der ersehnte Durchbruch gelungen? Kai Zuber bleibt vorsichtig: „Ein einzelnes Ereignis kann immer ein Zufall gewesen sein. Doch wenn noch ein paar mehr Neutrinos entdeckt werden, deren Herkunft mit Signalen in anderen Teleskopen übereinstimmt, wird es richtig spannend.“ ♦

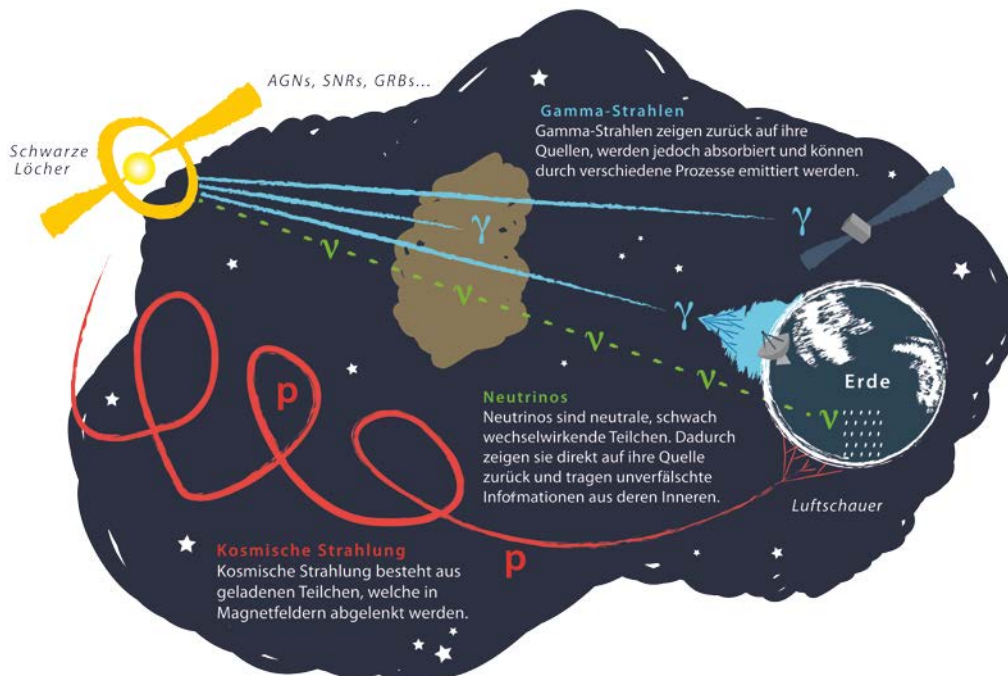
Michael Büker



ONLINE

Wissenschaftscomic „Klar soweit? No. 49“ über die Jagd nach Neutrinos:

→ www.helmholtz.de/comic



Quer durchs All Gammastrahlen, kosmische Strahlung und Neutrinos nehmen aufgrund ihrer Eigenschaften sehr unterschiedliche Wege durchs All. Bild: Juan Antonio Aguilar & Jamie Yang, IceCube/WIPAC

Auf der Suche nach dem Durchbruch

Deutschland gilt als Land der Innovationen. Doch bauen diese meist auf bestehenden Technologien, Produkten und Dienstleistungen auf. Für die Förderung von sogenannten Sprunginnovationen, die einen ganzen Markt umkrempeln können, sind jedoch gänzlich neue Förderstrukturen gefragt.

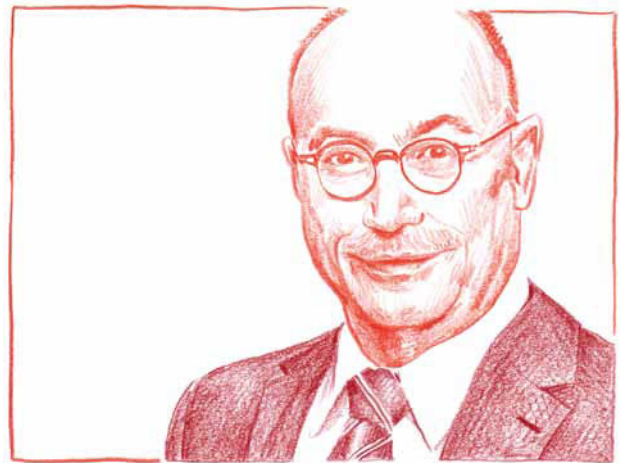
Ein Kommentar von Martin Stratmann

Jahrzehntelang verdienten Kodak, Agfa oder Fuji viel Geld mit 35-mm-Filmen für Fotoapparate. Im Jahr 2000 war erst jede zehnte verkaufte Kamera eine Digitalkamera. Zehn Jahre später lag ihr Anteil bei fast 100 Prozent. Der Grund dafür war, dass die Bildsensoren im Laufe der Jahre technisch immer leistungsfähiger und gleichzeitig immer günstiger wurden. Das machte sie für den Massenmarkt erschwinglich und attraktiv – und ließ die analoge Fotografie verschwinden, und mit ihr auch Kodak und Agfa. Die Digitalfotografie ist das, was man eine Sprunginnovation nennt: neue Produkte oder Dienstleistungen, die in einer Nische entstehen und dann einen ganzen Markt umkrempeln.

Das deutsche Innovationssystem ist bisher hervorragend aufgestellt, sogenannte erhaltende Innovationen hervorzubringen, die evolutionär auf bestehenden Technologien, Produkten und Dienstleistungen aufbauen. Anders sieht es bei der Entwicklung von disruptiven oder Sprunginnovationen aus. Diese brauchen viel Zeit, denn anfangs sind neue Technologien noch nicht gut genug, insbesondere im Vergleich mit den bestehenden. Sie sind nicht rentabel und werfen noch keine Gewinne ab. Die etablierten Unternehmen scheuen sich daher, ins Risiko zu gehen.

Computer- und Softwaretechnologie, Gesundheitsforschung sowie Biotechnologie sind von wachsender Bedeutung. Hier werden erhebliche Forschungsleistungen an Universitäten und in außeruniversitären Forschungseinrichtungen erbracht. Eine umfassende Kultur des Transfers dieses Wissens in die Anwendung hat sich aber bisher nicht in ausreichendem Maße bilden können. So münden entsprechende Forschungsergebnisse nur selten in völlig neuen Angeboten und Geschäftsmodellen deutscher Unternehmen. Vielmehr sind es häufig ausländische Wettbewerber vor allem aus den USA, die Sprunginnovationen dann auch tatsächlich auf den Markt bringen.

Für die Förderung von Sprunginnovationen braucht Deutschland daher neue, andere Förderstrukturen – orthogonal zu den Prinzipien, die heute vorherrschen. Wir müssen zusätzliche Anreize für die Durchführung neuer, richtungsweisender, wagemutiger Forschungs- und Entwicklungsprojekte setzen, die große Herausforderungen unserer Zeit tangieren und das Potenzial haben, letztlich in völlig neuen Produktkonzepten, technischen Lösungen oder Dienstleistungen zu münden. Innovationswettbewerbe könnten die bestehenden Förderinstrumente durch



Martin Stratmann Präsident der Max-Planck-Gesellschaft

einen Mechanismus ergänzen, der einige Nachteile aktueller Förderprogramme nicht aufweist. So könnten durch konkrete, ambitioniert angelegte Wettbewerbe Pfadabhängigkeiten durchbrochen, neue Akteure an Innovationsprozessen beteiligt, das breite öffentliche Interesse für gesellschaftlich relevante Innovationen geweckt und die Schaffung neuer Sprunginnovationen gefördert werden. Andere Länder machen es vor: so die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) in den USA oder die Innovationswettbewerbe der National Science Foundation (NSF) sowie in Großbritannien der Industrial Strategy Challenge Fund.

Unsere Idee: eine Agentur für Sprunginnovationen, die außer mit Wettbewerben auch durch das aktive Management konkreter Projekte die besten Lösungsansätze identifiziert. Indem besonders qualifizierte Programmmanager Themengebiete flexibel bearbeiten und direkte Fördermaßnahmen schnell und unbürokratisch beschließen können, werden bestehende Strukturen durchbrochen. Ein Abbruch von Projekten bei nicht erreichten Meilensteinen darf dabei nicht als Misserfolg gelten. Mechanismen der Themenfindung gewährleisten, dass sich die Ziele an bedeutenden gesellschaftlichen oder wissenschaftlichen Herausforderungen orientieren und ambitioniert innovativ sind. ◆

NACHGEFRAGT:

„WIE ERZEUGT
MAN EIN
NEUES
ELEMENT?“



Wie aus dem Nichts Woher kommen die neuen Elemente im Periodensystem? Bild: Helmholtz

Viele kennen das Periodensystem der Elemente aus dem Chemieunterricht – aber wohl noch in kürzerer Form: Im Laufe der Jahre ist die Tafel umfangreicher geworden, heute sind 118 Elemente darauf verzeichnet. Michael Block befasst sich am GSI, Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, mit superschweren Elementen und erklärt, woher die neuen Elemente kommen.

„Uran ist das schwerste Element, das heute natürlich auf der Erde vorkommt. Es hat die Ordnungszahl 92 – denn genau so viele Protonen finden sich in seinem Atomkern. Je höher die Ordnungszahl, desto schwerer das Element. Uns interessiert, welches das schwerste Element überhaupt ist. In Experimenten versuchen wir daher, immer schwerere Elemente zu erzeugen. Die Idee dabei ist, Atomkerne zweier stabiler, natürlich vorkommender Elemente zu verschmelzen und so ein neues Element zu erzeugen. Auf gerader Flugbahn schießen wir dafür in unserem Teilchenbeschleuniger ein Element wie ein Projektil auf eine dünne Trägerfolie, die aus dem Zielelement besteht. Das beschleunigte Element durchdringt

die Folie mit etwa 30.000 Kilometern pro Sekunde. Normalerweise stoßen sich die Atomkerne der Ursprungselemente ab, weil beide positiv geladen sind. Wegen der hohen Geschwindigkeit wird dieser Effekt jedoch überwunden und sie können zu einem neuen Element verschmelzen. Dessen Ordnungszahl ergibt sich aus der Anzahl der Protonen der Ursprungselemente.

Die künstlich erzeugten Elemente existieren nur Bruchteile von Sekunden, da ihre Atomkerne schnell zerfallen. Dabei hinterlassen sie allerdings messbare Spuren. Mehrere Elemente wurden am GSI entdeckt – so etwa das nach unserem Standort benannte Element „Darmstadtium“ mit der Ordnungszahl 110.

All diese aufwendigen Experimente dienen nicht dem Selbstzweck. Gibt es etwa besondere chemische Eigenschaften bei den künstlich erzeugten Elementen? Wenn wir die Kräfte besser verstehen, die in ihren Atomkernen wirken, können wir Rückschlüsse auf unser Universum ziehen. Letztlich wirken dort die gleichen Kräfte.

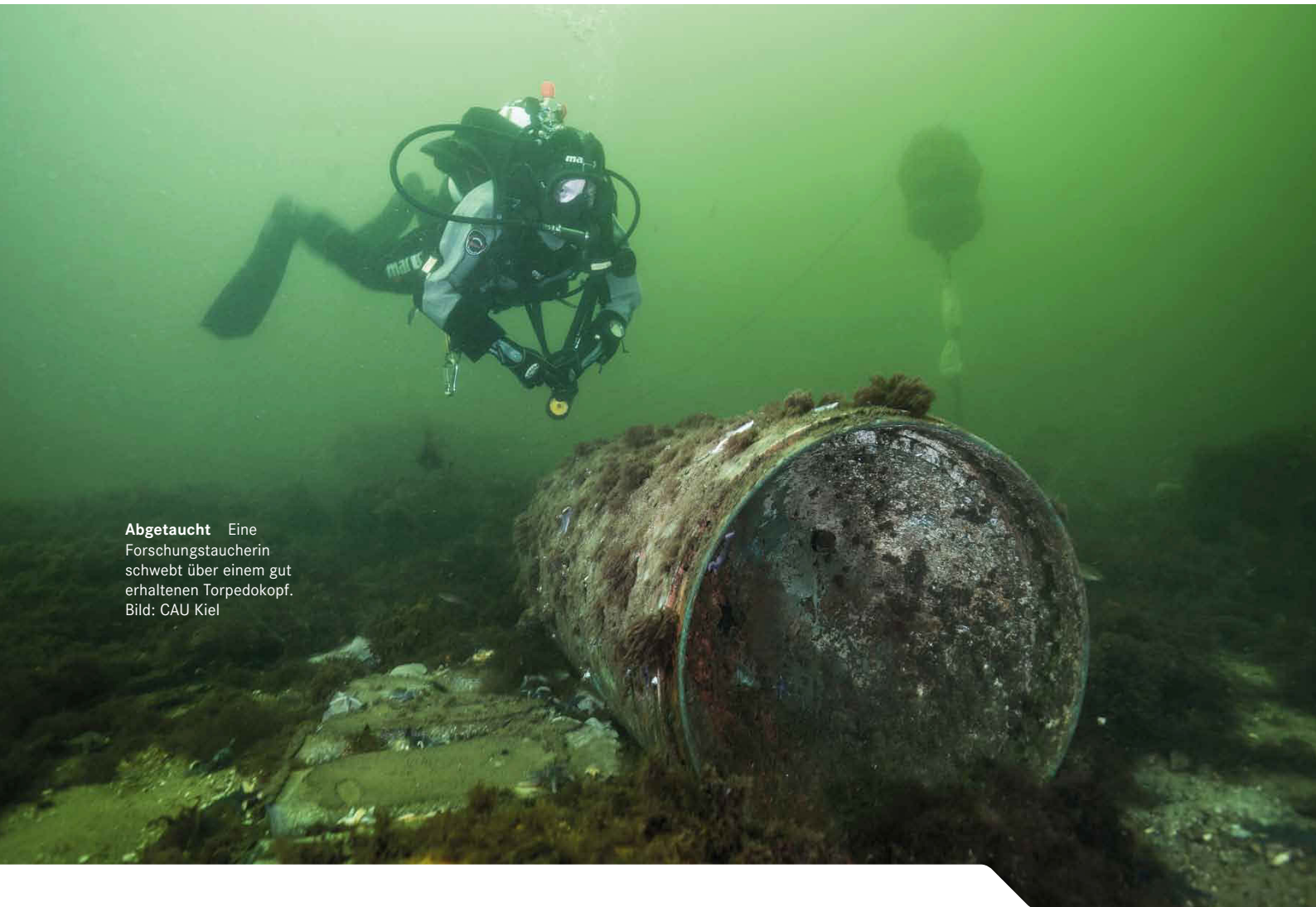
Nachgefragt hat **Kristine August**



ONLINE

Alle Ausgaben von
Nachgefragt:
→ [www.helmholtz.de/
nachgefragt](http://www.helmholtz.de/nachgefragt)





Abgetaucht Eine Forschungstaucherin schwebt über einem gut erhaltenen Torpedokopf. Bild: CAU Kiel

Das Erbe der Kriege

Am Meeresgrund lagern Abermillionen Tonnen alter Munition. Über Jahrzehnte wurde das Problem ignoriert. Jetzt beginnen Forscher, dem explosiven Problem auf den Grund zu gehen. Ihre Erkenntnis: Nicht nur die Meere werden nach und nach vergiftet – die gefährlichen Substanzen aus dem Sprengstoff gelangen auch in die menschliche Nahrungskette.

Das erste Mal hatte er noch ein mulmiges Gefühl. „Ich wusste“, sagt Jens Greinert, „dass ein paar Meter unter unserem Schiffsrumpf tonnenweise Sprengstoff lag, der dafür gebaut worden war, Schiffe zu versenken.“ Viele Monate hatte Greinert in seinem Büro im

GEOMAR, dem Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, auf diese Expedition hingearbeitet: Er hatte mit Kampfmittelspezialisten gesprochen, mit der Schifffahrtsbehörde, mit Forscherkollegen, und jetzt endlich sah er auf seinen Bildschirmen bis in die kleinsten Details jene Schrecken, die

sein spezielles Echolot dort auf dem Meeresgrund aufspürte: Torpedos, Seeminen, Grundminen – alle diese Überbleibsel aus zwei Weltkriegen, die allmählich vor sich hin rosten.

1,6 Millionen Tonnen Munition liegen nach offiziellen Schätzungen im Wasser vor deutschen Küsten, überwiegend nach dem Zweiten Weltkrieg bewusst versenkt.

Es ist eine heikle Mission, auf der sich die Wissenschaftler an den deutschen Küsten befinden: Das Forschungsprojekt, das Geologe Jens Greinert leitet, heißt UDEMM – ein Akronym für „Umweltüberwachung vor, während und nach der Delaboration von Munition im Meer“. 1,6 Millionen Tonnen Munition liegen nach offiziellen Schätzungen im Wasser vor deutschen Küsten, überwiegend nach dem Zweiten Weltkrieg bewusst versenkt. Die Besatzungsmächte wollten den restlichen Sprengstoff, der noch in deutschen Kasernen lagerte, im Zuge der Entmilitarisierung Deutschlands unschädlich machen und entschieden sich, ihn vor den Küsten zu verklappen. „Wir wissen ungefähr, an welchen Stellen die Munition ins Meer geworfen wurde, das wurde alles in Seekarten eingezeichnet“, sagt Jens Greinert. Das Problem: Die Kartierung ist denkbar ungenau. „Die Schiffe fuhrten einfach soundso lang in einem bestimmten Kurs auf die See hinaus und warfen die Munition dann ab.“ Die vermuteten Unterwasserlagerstätten sind heute Sperrgebiet, Schiffe dürfen dort nicht fahren – außer, sie bekommen eine Sondergenehmigung wie die Wissenschaftler vom UDEMM-Team. Sie untersuchen während der Projektlaufzeit vor allem das Ostseegebiet nahe der Kolberger Heide, in dem Tausende Sprengkörper versenkt worden sind.

Das Projekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wird, soll zum einen Möglichkeiten entwickeln, die Munition möglichst präzise ausfindig zu machen, und zum anderen herausfinden, wie stark sich die Sprengstoffsubstanzen am Meeresboden ausbreiten. Denn von diesen Überbleibseln der Kriege geht nicht nur Explosionsgefahr aus. Sie enthalten auch zahlreiche Schadstoffe, die sie mit dem Verrosten allmählich freisetzen.

Für das Aufspüren ist die Arbeitsgruppe von Jens Greinert zuständig. Das Team nutzt dabei sogenannte Multibeam-Kartierungen, bei denen moderne Echolote den Boden absuchen. „Unser

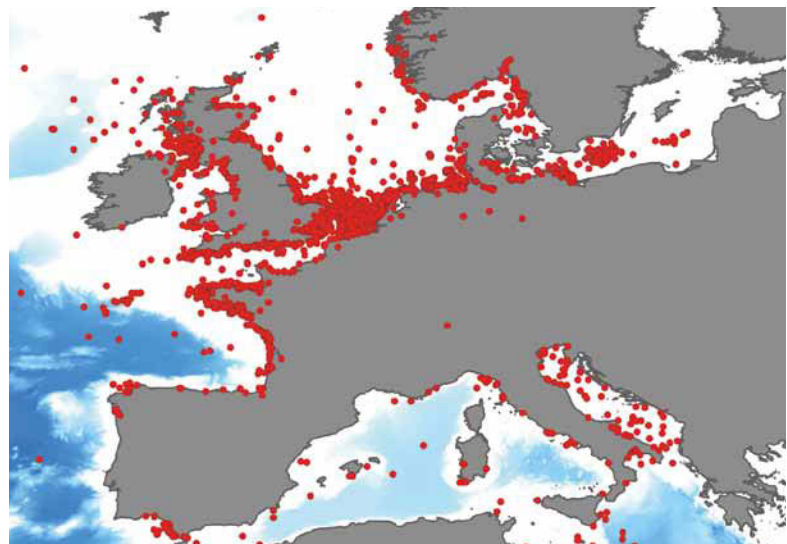
Ziel ist es, dass eine Software künftig auf den Aufnahmen die Munition entdeckt“, sagt Greinert. Genau zu wissen, wo wie viel ausgedienter Sprengstoff liegt, ist wichtig, um die Umweltfolgen zu ermitteln. Wissenschaftler vom GEOMAR haben im Rahmen des Projekts neue Analysemethoden entwickelt, um die gelösten Stoffe aus der Munition aufzuspüren.

„Je stärker die Munition korrodiert, desto mehr gefährliche Substanzen treten aus. Über die Meeresbewohner gelangen sie dann auch in die menschliche Nahrungskette“, umreißt Edmund Maser das Problem. Er leitet an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel das Institut für Toxikologie und ist mit seinen Kollegen inzwischen auch ein Spezialist im Bereich der Umweltforschung. Häufig enthalte die Munition Trinitrotoluol, besser bekannt als TNT. „Untersuchungen haben ergeben, dass TNT unter anderem krebserrregend wirkt“, sagt Maser. Für die Analyse der Munitionsbestände hat er ein ausgeklügeltes Verfahren entwickelt: Er hat Muscheln in kleine Körbchen gesetzt und diese dann von Tauchern im Meer fixieren lassen – direkt auf der Oberfläche der Munition und in verschiedenen Abständen zu den Fundstellen. „Die Muscheln filtern jeden Tag mehrere Liter Wasser, und wir sind davon ausgegangen, dass sich deshalb eventuelle Schadstoffe in ihnen nachweisen lassen“, erläutert er die Herangehensweise. Nach einigen Wochen holten Taucher die Muschelkörbchen wieder an die Oberfläche, und tatsächlich konnten die hochauflösenden Messgeräte der Toxikologen eindeutige Veränderungen feststellen: Zwischen →



Umweltfolgen Um festzustellen, ob Muscheln Schadstoffe der Munition aufnehmen, werden sie in Säcken an sogenannten Muschelverankerungen befestigt und alle drei Monate analysiert.
Bild: Jens Greinert

Weit verbreitet Fast vor allen Küsten Europas findet man Munition, die durch Verklappung, Blindgänger oder militärische Übungen dorthin gelangt ist.
Karte: Aaron Beck

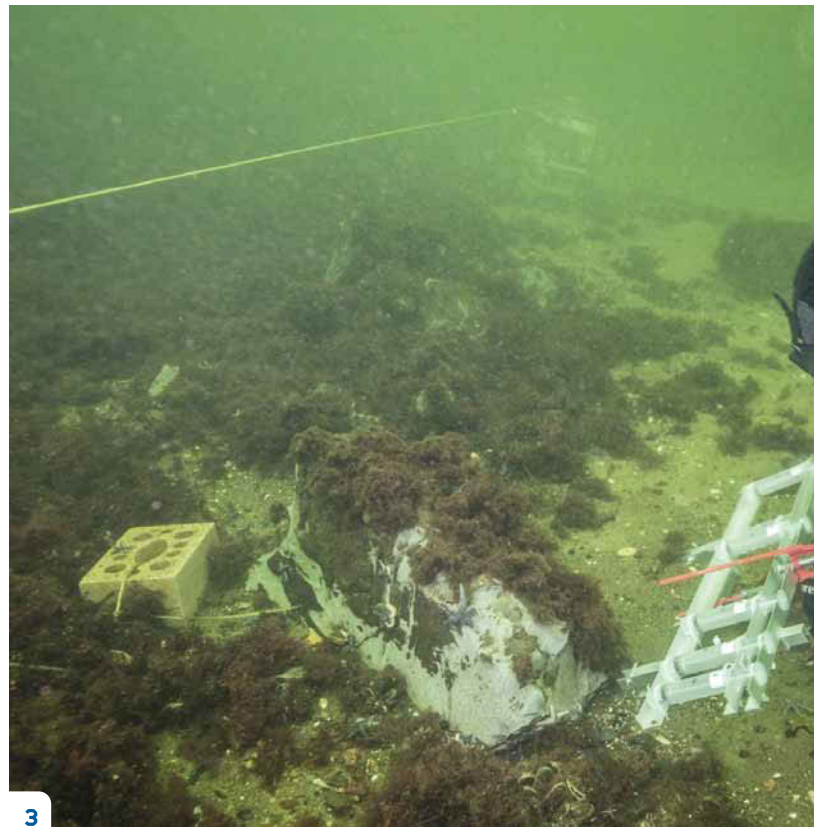




1



2



3

Im Einsatz Von einem Schlauchboot aus arbeiten die Forschungstaucher auch bei widrigen Wetterverhältnissen und entnehmen Wasserproben in definierten Abständen zu einer Sprengstoffquelle. Bilder 1-3: CAU Kiel

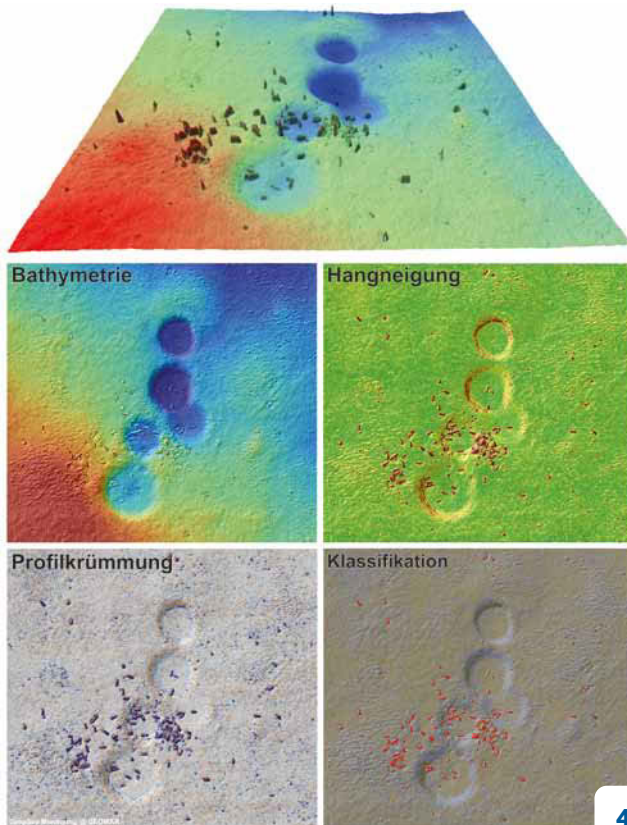
sechs und acht Nanogramm der gefährlichen Substanzen fanden sie in jedem Gramm Muschelgewebe. „Es muss rund um die Munitionslager eine Wolke von Stoffen entstehen, die sich im Wasser verteilt“, lautet Masers Schlussfolgerung.

Das ist in dem Forschungsprojekt die Stelle, an der Anja Eggert ins Spiel kommt. „Wir simulieren die Verbreitung in den Meeren“, sagt die Biologin und Ozeanografin vom Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde. Sie sitzt vor den Hochleistungsrechnern, die ihrem Team dabei geholfen haben: In die Modelle sind die Bedingungen in der Ostsee eingeflossen, von der Windstärke bis hin zu Wettereinflüssen. Dadurch lässt sich ermitteln, wie schnell und in welche Richtung das Wasser fließt. „Wir haben in die Modelle aber noch weitere Faktoren aufgenommen, um speziell die Verbreitung der Giftstoffe aus der Munition zu berechnen“, sagt Anja Eggert. Salzgehalt und Temperatur des Wassers etwa sind entscheidend dafür, wie viel Sprengstoff sich löst – also hat sie diese Größen in das Modell einbezogen. „Wir haben aus diesen Daten jetzt Karten erstellt, auf denen zu sehen ist, wie stark verdünnt die Substanzen in welchen Bereichen der Ostsee noch auftauchen“, erklärt sie.

Das komplexe Modell, das Anja Eggert entwickelt, ist auch weit über das UDEMM-Projekt hinaus einsetzbar – genauso wie die meisten anderen Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben auch. „Wir können das Modell gut auch auf andere Seegebiete übertragen, auf die Nordsee etwa oder selbst auf Gebiete im tropischen Pazifik“, sagt Eggert. Diese universelle Verwendbarkeit ist besonders wichtig, weil überall auf der Welt Munition unter der Wasseroberfläche entsorgt wurde.

„Jedes Schiff, das in die Kieler Förde fährt, passiert Minen.“

„Obwohl das Problem an so vielen Orten auftritt, gab es dazu bislang kaum Forschung“, sagt Jens Greinert. Das hängt letzten Endes auch damit zusammen, dass es ein sensibles Thema ist, bei dem von der Politik bis hin zum Militär die unterschiedlichsten Akteure mitreden – und die haben sich bislang oft entschieden, mit Stillschweigen zu reagieren. „Das haben wir viel zu lange geduldet. Mit dem Wegschauen muss Schluss sein“, sagte im Jahr 2016 der damalige grüne Landesumweltminister Robert Habeck in Kiel, als UDEMM



Aufgespürt Mit moderner Fächerecholottechnik können Munitionskörper sichtbar gemacht werden. Die kreisrunden Flächen zeugen von den Versuchen, die Munition durch Sprengungen zu beseitigen.
Bild 4: Jens Greinert

offiziell vorgestellt wurde. Zeitgleich fiel der Startschuss für ein weiteres Projekt: Bei RoBEMM entwickeln Forscher ein Robotersystem, das die Munition unter der Wasseroberfläche unschädlich macht und birgt – auch hier sind Wissenschaftler vom GEOMAR beteiligt.

Für die grundsätzliche Frage, wie man am besten mit den Munitionsvorräten umgeht, sollen beide Forschungsprojekte wichtige Anhaltspunkte geben. Dass sich alle 1,6 Millionen Tonnen Sprengstoff vor den deutschen Küsten bergen lassen, halten fast alle Experten für illusorisch – zumal vor der Nordsee wegen der Gezeiten längst Schlick über der Munition liegt. Und selbst auf Schifffahrtsrouten liegt Munition: „Jedes Schiff, das in die Kieler Förde fährt, passiert Minen“, sagt GEOMAR-Forscher Jens Greinert – „die können zwar nicht mehr von selbst explodieren, aber sie liegen da.“

In der Vergangenheit gab es schon kontrollierte Sprengungen, aber auch die haben eine Reihe von negativen Auswirkungen. „Ein Problem ist, dass der Sprengstoff wegen des Sauerstoffmangels unter Wasser nicht vollständig verbrennt“, sagt Toxikologe Edmund Maser. Stattdessen verteilen sich auch kleine Klumpen von TNT am Meeres-

boden, „da sind selbst fußballgroße Brocken dabei“. Eines seiner Muschelkörbchen hat Maser auch direkt an einem solchen Klumpen befestigen lassen – und ein erschreckendes Ergebnis erzielt: In den Muscheln war die Schadstoffkonzentration 50-mal höher als neben den kompletten Sprengkörpern, wo offenkundig weniger gefährliche Substanzen entweichen. Und vor allem: Wenn die Metallhülle um den Sprengstoff fehlt – entweder nach einer kontrollierten Sprengung oder nach der vollständigen Korrosion –, lassen sich die Minen und Torpedos am Meeresgrund kaum noch detektieren.

Jens Greinert indes rüstet sich wieder einmal zu einer Expedition. Im Oktober geht es mit dem Forschungsschiff POSEIDON in die Flensburger und die Lübecker Bucht bis hin zur polnischen Grenze. Drei Wochen lang wird er mit seinen Kollegen den Boden mit den speziellen Sonargeräten absuchen. Nur an den schaurigen Anblick der todbringenden Waffen dort am Meeresgrund, der sich ihm auf dem Bildschirm zeigt – an den könne er sich auch nach vielen Ausfahrten einfach nicht gewöhnen.

Kilian Kirchgeßner



BILDERGALERIE

Mehr Eindrücke gibt es in unserer Bildergalerie unter:

→ www.helmholtz.de/munition-im-meer



Die Kraft des dreckigen Eises

Mikrobiologin Stefanie Lutz untersucht in Grönland, weshalb mitten in der Eiswüste Algen blühen – und wie diese das Schmelzen des Eispanzers zusätzlich beschleunigen.

Als sich die Rotorblätter des Transporthubschraubers zu drehen beginnen und der rote Koloss laut dröhnend vom Eis abhebt, atmet die Mikrobiologin Stefanie Lutz einmal tief durch. Jetzt gibt es kein Zurück mehr! Die nächsten zwei Juliwochen wird sie gemeinsam mit fünf britischen Forschern und einer Potsdamer Kollegin in einem Zeltcamp auf dem Eis des Grönländischen Eisschildes verbringen, 56 Kilometer nördlich des Polarkreises. Die nächste Stadt heißt Kangerlussuaq und ist eine Flugstunde weit entfernt. Die einzige Verbindung in

die Zivilisation stellt ein Satellitentelefon dar – für den Notfall und den täglichen Lagebericht. Doch den Gedanken an Eisbären, Gletscherspalten und andere Gefahren verdrängt die Wissenschaftlerin vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) schnell wieder. Stattdessen schweift ihr Blick über die schier unendliche Leere hin zum Horizont, wo sich das Eis und der wolkenlose Himmel berühren. Kaum Wind, die Temperatur knapp unter dem Gefrierpunkt – perfekte Bedingungen für Forschungsarbeiten auf dem Eis!

„Die graue Farbschattierung wird durch Eisalgen hervorgerufen, die in der oberen Eisschicht überwintern und große Algenblüten formen, wenn die Oberfläche schmilzt.“

Stefanie Lutz nimmt die Gletscheroberfläche genauer in Augenschein. Nackt liegt ihr der Grönländische Eisschild zu Füßen. Die Sommersonne hat die Schneedecke des vergangenen Winters längst weggeschmolzen. Die Sonnenstrahlen lecken jetzt direkt am Eis und verwandeln die Oberfläche in ein holpriges Mosaik aus Pfützen, Rinnsalen und zahllosen Eishöckern, die an verwaiste Schneereste vom Straßenrand erinnern. Graue Trübsal statt weißer Pracht. Doch dieses dreckige Eis ist der Grund, warum Stefanie Lutz nach Grönland gekommen ist. „Die graue Farbschattierung wird durch Eisalgen hervorgerufen, die in der oberen Eisschicht überwintern und große Algenblüten formen, wenn die Oberfläche schmilzt“, sagt die Mikrobiologin.

Diese grundsätzliche Erkenntnis ist nicht neu. Schon die alten Griechen wussten, dass bestimmte Algenarten im Schnee wachsen und ihn großflächig grün bis rot einfärben können. Polarforscher be-

richteten erstmals im Jahr 1870 von den graubraunen Eisalgen. Wie viele Arten die Gletscher jedoch besiedeln und wie sie überleben, ist unklar – ebenso die Frage, wie stark ihre Blüten die Schmelze des Eisschildes vorantreiben. „Wir nehmen an, dass die Schnee- und Eisalgen die Rückstrahlkraft der Eisoberfläche von 90 auf bis zu 20 Prozent verringern. Dort, wo die Algen wachsen, reflektiert das Eis die Sonnenenergie nur noch zu einem kleinen Teil. Die restliche Wärme wird absorbiert“, erklärt Stefanie Lutz.

Ob diese Schätzungen stimmen, untersucht die Biologin gemeinsam mit Glaziologen, Physikern und Chemikern im interdisziplinären Forschungsprojekt „Black&Bloom“, zu dem das Zeltcamp auf dem Eisschild gehört. „Wir wollen am Ende der Feldarbeiten in der Lage sein, das Zusammenspiel von Sonne, Eis und Algen zu modellieren, sodass diese Prozesse schon bald in die großen Klimamodelle einfließen können“, erläutert die Potsdamerin. →



Kraftakt Alle paar Tage müssen die Forscher die Zelte neu aufstellen, da der Untergrund unregelmäßig schmilzt.
Bild: Liane G. Benning/GFZ



Labor im Zelt Geschmolzene Schnee- und Wasserproben werden gefiltert, um sie für den Heimtransport zu konservieren.
Bild: Stefanie Lutz



Eingesammelt Stefanie Lutz bei einer Probenahme von Schnee mit Eisalgen
Bild: Liane G. Benning/GFZ



Gut gerüstet Mit einem Rucksack voller Arbeitsutensilien auf dem Weg zu einer Probennahme Bild: National Geographic

Denn Fakt ist: Der Grönländische Eisschild verliert seit dem Jahr 1992 mehr Eis, als sich aufgrund der globalen Erwärmung erklären lässt. Es muss also weitere Einflussfaktoren geben – die Algenblüten sind vermutlich einer davon.

„Das Schmelzen ist eine echte Herausforderung, weil wir das Eis nicht erhitzen dürfen.“

Aus diesem Grund schnürt sich die blonde, sportliche Wissenschaftlerin an jedem Morgen die Spikes unter die Wanderstiefel und bricht zur Probennahme in das abgesteckte Messfeld sowie in die nähere Camp-Umgebung auf. Im Rucksack trägt sie ihre Arbeitsutensilien: einen Fotoapparat, Gummihandschuhe, sterilisierte Probentütchen, einen Eispickel, eine Sandkastenschaufel und Ethanol, mit dem sie ihr Werkzeug vor jeder Probennahme reinigt. Interessant sind nur die oberen drei bis vier Zentimeter Eis, die Stefanie Lutz an jeder Probenstelle herausschlägt. Drei bis fünf Kilo Eis füllt sie pro Station in ihre Tüten.

Zurück im Camp, müssen das von Algen durchsetzte Material geschmolzen und die Mikroorganismen herausgefiltert werden. „Das Schmelzen ist eine echte Herausforderung, weil wir das Eis nicht erhitzen dürfen. Es muss von allein schmelzen – und das dauert im Zelt oft mehrere Tage“, erzählt die 31-Jährige. Frustriert von der Warterei, wickelt sie die Proben in schwarze Plastiktüten ein – in der Hoffnung, auch den letzten Wärmestrahler einzufangen.

Die Sonne schmilzt vor allem das frei liegende Eis an der Gletscheroberfläche. Bis zu sechs Zentimeter fehlen an jedem Abend, sodass die Zelte der Wissenschaftler nach drei Tagen auf einem 20 Zentimeter hohen Hügel stehen und versetzt werden müssen – an einen neuen, zuvor eingeebneten Standort. Mit jedem Sommertag, den Stefanie Lutz vor Ort ist, wird die Oberfläche des Eisschildes dunkler. „Die Algenkonzentration war am Ende an einigen Stellen so hoch, dass wir in einem Milliliter geschmolzenen Eises bis zu 10.000 Eisalgen gezählt haben“, erzählt sie. Diese Zahl erklärt, warum die Wissenschaftler den schneefreien Rand des Grönländischen Eisschildes als „dark zone“ bezeichnen: Das Eis ist hier wegen der Algen wirklich dunkler als im Landesinnern und schmilzt schneller als die weißen Eismassen im Zentrum des Eisschildes.

Mit dem Klimawandel vergrößert sich außerdem der Wirkungsbereich der Eisalgen. Zum einen beginnt die Schneeschmelze früher im Jahr – das heißt, die Algenblüte setzt eher ein, wodurch die Einzeller länger Zeit haben, sich auszubreiten. Zum anderen zieht sich die Schneegrenze kontinuierlich ins Landesinnere zurück. Unter diesen Voraussetzungen können einzelne Eisalgen, getragen vom Wind, auch entlegene Bereiche des Eisschildes erreichen und dort eine neue Blüte starten. Als Stefanie Lutz nach ihrem Abschied aus dem Camp noch ein paar Proben an der Schneegrenze nehmen will, muss sie mit dem Hubschrauber 100 Kilometer landeinwärts fliegen, bis sie schneebedeckte Eismassen erreicht. Zurück in Potsdam, genießt die Biologin zuerst einmal eine heiße Dusche. „Nach 14 Tagen auf dem Eis fühlt sich



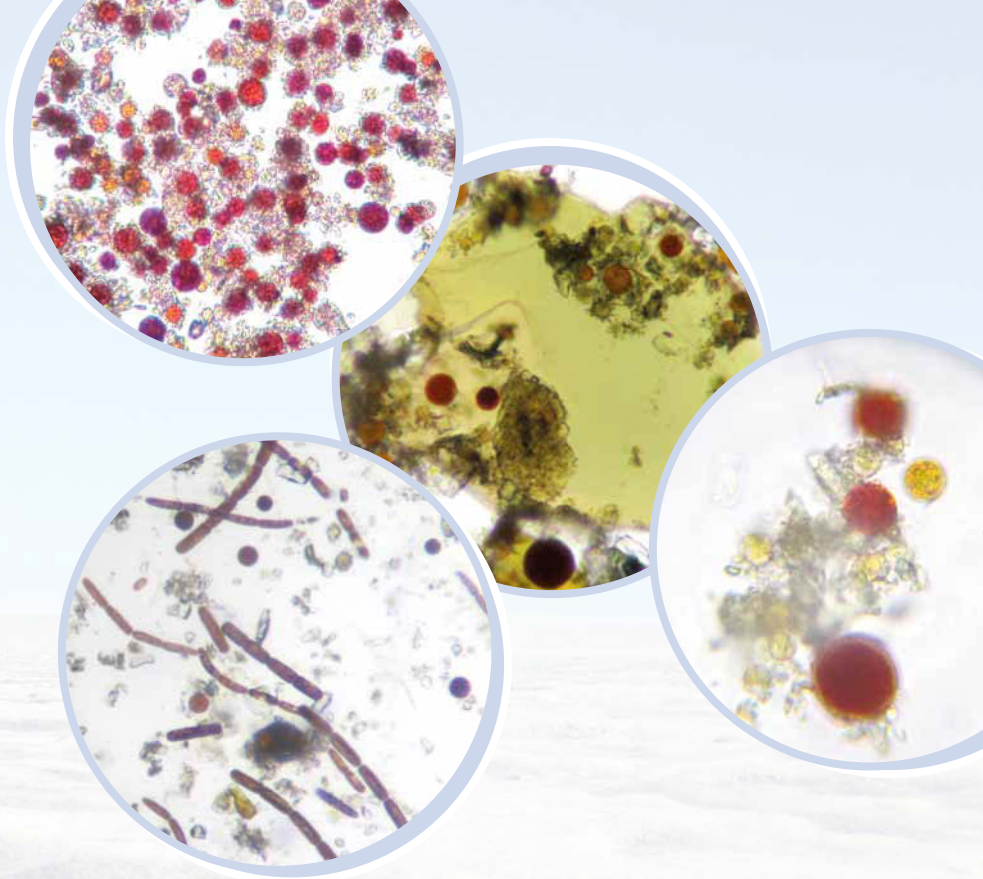
BILDERGALERIE

Mehr Eindrücke gibt es in unserer Bildergalerie unter:

→ www.helmholtz.de/jwd



„Die Algenkonzentration war am Ende an einigen Stellen so hoch, dass wir in einem Milliliter geschmolzenen Eises bis zu 10.000 Eisalgen gezählt haben.“



fließend warmes Wasser wie ein echter Luxus an. Im Camp gab es nur eine kurze Katzenwäsche mit Wasser aus dem Wasserkocher“, erzählt sie. Ihr Probenmaterial durchläuft in den Laboren viele Analysen. Stefanie Lutz extrahiert unter anderem die Eisalgen-DNA und bestimmt die Artenvielfalt. Die Ergebnisse bestätigen ihre vorherigen Arbeiten: „Es gibt auf der Welt zwei dominante Eisalgenarten, die auch auf dem Grönländischen Eisschild für die Eisverfärbungen verantwortlich sind. In den Schneeeproben haben wir zudem fünf der sechs typischen Schneeealgenarten gefunden, wenn auch nur in sehr geringer Konzentration“, berichtet die Wissenschaftlerin.

Die Ergebnisse zur Biodiversität der Eis- und Schneeealgen Westgrönlands verarbeitet Stefanie Lutz derzeit zu einem Fachartikel. Außerdem hat sie die Daten an ihre Black&Bloom-Kollegen an der Universität Bristol geschickt. Diese werden die Zahlen in das erste Computermodell integrieren, welches die Wechselwirkungen zwischen Algen, Eisschild und Sonne simulieren wird. Gemeinsam sollte das Black&Bloom-Team also schon bald in der Lage sein, den Einfluss der Eisalgen auf die Gletscherschmelze in Grönland genau und großflächig zu beschreiben. ◆

Durchleuchtet Mikroskopische Aufnahmen von rot pigmentierten runden Schneeealgen und länglichen braunen Eisalgen
Bilder: Stefanie Lutz

Sina Löschke



Viel unterwegs Stefanie Lutz untersucht Eisalgen nicht nur in Grönland, sondern auch auf Spitzbergen oder wie hier in Norwegen.
Bild: National Geographic

A portrait of Heike Rauer, a woman with short brown hair and black-rimmed glasses, smiling. She is wearing a dark blazer over a white top. She is holding a purple and white celestial globe in front of her. To her left is a larger, greenish-yellow globe on a stand. The background shows a blue door frame and a poster with the word 'SENS' visible.

HEIKE RAUER

Leiterin des Instituts für Planetenforschung, DLR

Die nach den Sternen greift

Heike Rauer sucht nach Planeten außerhalb des Sonnensystems und denkt darüber nach, wie sich außerirdisches Leben nachweisen ließe. Jetzt hat die Physikerin am Berliner Institut für Planetenforschung des DLR das Steuer übernommen.

Als Kind verfolgte sie fasziniert die Apollo-Missionen im Fernsehen, stöberte im Bücherregal ihres älteren Bruders durch Science-Fiction-Romane und las sich als Jugendliche quer durch ein Physiklexikon. „Ich wollte schon früh verstehen, wie die Dinge funktionieren, was die Welt zusammenhält“, sagt Heike Rauer heute. Und doch: Fast hätte sie Kunstpädagogik studiert. „Die Schule hat mir die Physik komplett verleidet, es war richtig demotivierend.“ Gleich nach dem Abitur reichte sie deshalb ihre Mappe mit Zeichnungen und Bildern an einer Kunsthochschule ein. Dass sie abgelehnt wurde, sollte für sie zum Glücksfall werden.

Sie schrieb sich erst einmal an der Universität Hannover für Physik ein, um die Wartezeit bis zur nächsten Bewerbung zu überbrücken. Tatsächlich kam im Jahr darauf eine Zusage der Kunsthochschule – aber sie sagte ab. Im Physikstudium hatte sie endlich gefunden, was sie sich von dieser Naturwissenschaft versprochen hatte: aus nur wenigen Grundannahmen die Welt zu erklären, Zusammenhänge aufzudecken. Heike Rauer zog das Studium durch, wurde am damaligen Max-Planck-Institut für Aeronomie und der Universität Göttingen zu Plasmaschweif von Kometen promoviert und arbeitete als Forschungsstipendiatin der Europäischen Weltraumorganisation ESA am Observatorium Paris.

Am Berliner DLR-Institut für Planetenforschung, das sie heute leitet, ist sie seit 1997: Sie habilitierte sich an der TU Berlin und arbeitete als Professorin an internationalen Satellitenmissionen mit, die immer tiefer in die Geheimnisse der Planeten außerhalb unseres Sonnensystems eindringen. Sie trieb die PLATO-Mission zur Suche nach extrasolaren Planeten voran und leitet das Instrumentenkonsortium dieser ESA-Mission seit 2014 – ein wissenschaftliches Großvorhaben, mit Akteuren aus rund 100 Forschungseinrichtungen und der Raumfahrtindustrie. Das Akronym PLATO steht für PLANetary Transits and Oscillations

of stars; es bezeichnet ein Weltraumteleskop, das ab 2026 rund 1,5 Millionen Kilometer weit von der Erde entfernt Sterne in der Milchstraße untersuchen wird: PLATO zeichnet die kurzen Verdunkelungen auf, die entstehen, wenn Planeten auf ihrer Bahn zwischen das Teleskop und den Stern geraten, den sie umrunden. PLATO misst aber auch die seismischen Schwingungen der Sterne selbst. Wenn die Wissenschaftler diese Daten gesammelt betrachten, können sie daraus nicht nur auf Masse und Radius der Planeten schließen, sondern auch ihr Alter bestimmen – und zwar wesentlich genauer, als es bisher möglich ist.

Seit Heike Rauer 2017 dem vorherigen Institutsdirektor Tilman Spohn nachfolgte, sitzt sie viel öfter als früher in Meetings, muss zuhören, diskutieren, Entscheidungen treffen und überzeugen. Aber genau das reizt sie auch an dieser Aufgabe: „Damit kann ich in gewisser Weise viel mehr für die Wissenschaft tun, als ich es mit reiner Forschungsarbeit könnte“, sagt sie. Um die 100 feste Mitarbeiter arbeiten am DLR-Institut für Planetenforschung an unterschiedlichen Projekten und Missionen, die alle mit der Erkundung von Planeten zu tun haben, innerhalb und außerhalb des Sonnensystems.

Rauers eigenes wissenschaftliches Großprojekt bleibt die PLATO-Mission: Als Koordinatorin wird sie von einem Manager unterstützt, der das Tagesgeschäft übernimmt, die einzelnen Arbeitspakete sind an Expertenteams delegiert. Gerade am PLATO-Projekt zeigt sich auch, was für einen langen Atem Heike Rauer hat und welche hohe Frustrationstoleranz – zwei Kernkompetenzen in der Forschung. Sie war bereits bei der ersten Antragsstellung an die ESA im Jahr 2010 als Leiterin des wissenschaftlichen Programms beteiligt, basierend auf Jahren intensiver Vorbereitung. Dann kam die Absage. Aber Rauer gab nicht auf, sie setzte sich mit allen Kritikpunkten der Gutachter auseinander und schaffte es, ihre Leute neu zu motivieren. „Es gab mehrere →



Flammender Planet Zusammen mit anderen Wissenschaftlern wies Heike Rauer zum ersten Mal Titanoxid auf dem 2000 Grad Celsius heißen Exoplaneten WASP-19b nach.
Bild: M. Kornmesser/ESO

Missionen, die ähnliche Zielsetzungen wie PLATO hatten, und ich habe wirklich gefragt: Lohnt sich das noch? Und wenn herausgekommen wäre: Ja, diese Missionen bringen schon genau die Informationen, die wir brauchen – dann hätten wir PLATO aufgegeben. Aber das Ergebnis war, dass unsere Mission einen großen Mehrwert bringt, vor allem, weil wir sehr viel präzisere Beobachtungen erwarten können.“ Bei der nächsten Auswahlrunde im Jahr 2014 bekam ihr Forschungsvorhaben grünes Licht.

„Forschung ist für mich ein Lebensstil, nicht nur ein Job“, sagt Heike Rauer. Die sportliche Frau ist jetzt Mitte 50, sie wirkt gelassen und sachlich. An ihren eng getakteten Terminkalender hat sie sich längst gewöhnt. Das Wochenende versucht sie freizuhalten, möglichst keine Mail zu lesen. Sie frühstückt ausgiebig mit ihrem Mann, schaltet im Garten ab oder segelt eine Runde auf dem Wannsee. Dann sitzt sie schon wieder am Schreibtisch und bereitet ihre Vorlesungen vor. Die viele Arbeit stört sie nicht, im Gegenteil: „Ich habe einen echten Traum-beruf“, sagt sie.



ONLINE

Mehr Porträts
finden Sie hier:

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



Um mit dieser Begeisterung auch andere anzustecken, will sie in ihrer Funktion als neue Leiterin das Institut noch stärker als bisher für Interessenten öffnen. Vor allem die Schülerlabore liegen ihr am Herzen: Den Jugendlichen zu zeigen, was Forschung wirklich ausmacht, und sie zu motivieren weiterzudenken – das findet sie wichtig. „Meine Erfahrung ist: Gerade die Astronomie kann Jugendliche begeistern, die sich mit der Frage nach dem Woher und Wohin auseinandersetzen. Es motiviert sie, schwierige Studiengänge anzugehen und eine gute Ausbildung in den Natur- und Ingenieurwissenschaften zu erhalten“, sagt sie.

Sie habe eigentlich immer nur das gemacht, was sie interessiert habe, sagt Heike Rauer im Rückblick, die Karriere habe sich dabei irgendwie von selbst ergeben. „In der Wissenschaft zu arbeiten, das ist ein harter Weg. Man weiß lange nicht, ob es klappt oder nicht. Auch ich habe manchmal gedacht: Das ist jetzt die letzte Konferenz – aber dann kam doch wieder ein gutes Angebot. Es ist wichtig, eigenen Forschungsinteressen zu folgen, nur dann ist man wirklich motiviert, auf dem langen Weg dabeizubleiben.“

Mit ihrer Leidenschaft für die Astronomie, das erfährt sie immer wieder, ist sie nicht allein: „Ich merke bei öffentlichen Vorträgen, wie sehr es die Menschen interessiert, was wir tun. Insbesondere auch die Frage, wie Planeten entstehen, wie sich Leben bildet und ob es auch um andere Sterne Planeten mit Leben gibt – das beschäftigt die Menschheit seit Tausenden von Jahren, aber heute können wir erstmals mit wissenschaftlichen Methoden Antworten auf diese Fragen finden“, sagt sie.

Und: Gibt es Planeten, auf denen Leben zu finden ist? Primitive Lebensformen, Einzeller, vielleicht deutlich andere als hier auf der Erde, hält Rauer genauso wie viele ihrer Kollegen für ziemlich wahrscheinlich, aber sie weiß auch: Die Meinungen sind nach wie vor geteilt. „Auch diejenigen, die Leben für extrem unwahrscheinlich halten, haben dafür gute Gründe“, sagt Heike Rauer diplomatisch. Inzwischen haben die Forscher eine genauere Vorstellung davon, wie Organismen durch ihren Stoffwechsel die Atmosphäre um einen Planeten verändern könnten. Damit hinterlassen sie Spuren, an denen man sie erkennen kann. Möglicherweise, hofft Rauer, liefern die nächsten Missionen schon einige Antworten. ◆

Antonia Rötger

KLEINE FORSCHER

BUNTER BLUBBERSPASS MIT DER LAVALAMPE

Sicherlich kennt ihr diese Lampen, in denen eine bunte Flüssigkeit in dicken Blasen vom Boden nach oben steigt. Man nennt sie Lavalampen, da sie an geschmolzenes Gestein bei Vulkanausbrüchen erinnern. Gekaufte Lavalampen enthalten oft reizende und leicht entzündliche Chemikalien – unsere nicht!

DAS BRAUCHST DU:



SO GEHT'S:

1. Fülle eine Glasflasche zu etwa $\frac{1}{4}$ mit Wasser und färbe es nach Belieben mit Lebensmittelfarbe.
2. Kippe die Glasflasche leicht und gieße vorsichtig Öl in die Flasche, bis sie fast voll ist. Das Öl sollte auf dem Wasser schwimmen und sich nicht damit mischen.
3. Teile eine Brausetablette in vier Stücke und gib ein Stück in die Flasche. Schraub den Deckel fest zu und beobachte, wie bunte Blasen nach oben steigen.
4. Wenn es weniger blubbert, gib ein weiteres Stück der Brausetablette in die Flasche. Diesen Vorgang kannst du so oft wiederholen, wie du möchtest.

TIPP: Es gibt einen tollen Effekt, wenn du die Glasflasche von unten mit einer Taschenlampe beleuchtest.

ERKLÄRUNG:

Da die Dichte des Öls geringer als die des Wassers ist, „schwimmt“ das Öl auf dem Wasser. Die Brausetablette sinkt durch ihr Gewicht nach unten und gibt beim Auflösen kleine Bläschen aus Kohlenstoffdioxid ab. Diese Gasblasen steigen aufgrund ihrer geringeren Dichte im Vergleich zu Wasser und Öl nach oben und nehmen dabei etwas eingefärbtes Wasser mit. An der Oberfläche entweicht das Gas und übrig bleibt das Wasser, das nun langsam wieder nach unten sinkt, weil es schwerer als das Öl ist. So entsteht der Lavaeffekt.

Dichte ist übrigens ein Begriff aus der Physik. Sie beschreibt bei einem Körper das Verhältnis von seiner Masse zu seinem Volumen (das ist der Platz oder Raum, den ein Gegenstand ausfüllt).



VIDEO

Hier auch als Video unter:
→ www.helmholtz.de/experiment



ONLINE

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



Dieses Experiment stammt von:

DLR_School_Lab TU Dortmund

Raus aus der Schule, rein ins Labor – unter diesem Motto laden das DLR und die TU Dortmund Schülerinnen und Schüler der Mittel- und Oberstufe in ihr DLR_School_Lab ein. Neben dem Besuch des Labors mit seinen zahlreichen Experimentieranlagen besteht für Schulklassen je nach Altersstufe auch die Möglichkeit, den großen Elektronenbeschleuniger Delta zu besichtigen. Das DLR_School_Lab TU Dortmund feiert im November 2018 seinen 10. Geburtstag.

Emil-Figge-Str. 66, 44227 Dortmund
Tel.: +49 231-7556056
E-Mail: schoollab-tudortmund@dlr.de
www.tu-dortmund.de/schoollab
www.dlr.de/schoollab/tu-dortmund

