



EIN PAAR KILO ZU VIEL

Was wir über gesunde Ernährung wissen
und welche Rolle Fleisch dabei spielt



IM UNTERGRUND

Auf der Jagd nach
seltenen Erden

IM ORBIT

Wie Winzlinge Urin in
Dünger umwandeln

AUF DER STRASSE

Comeback für die
Brennstoffzelle?





Auf der Flucht

Der Schattenriss eines Meeresbewohners hebt sich tiefschwarz gegen die vereiste Wasseroberfläche ab. Kein Hai, sondern ein Polardorsch zieht auf unserem Wissenschaftsbild seine Bahn. Hier unter dem arktischen Meereis findet er ideale Bedingungen, um sich zu vermehren. Der bis zu 40 Zentimeter lange Fisch laicht bei Wassertemperaturen um den Gefrierpunkt, weil sich die befruchteten Eier beziehungsweise Embryonen bei dieser Temperatur am besten entwickeln. Gelingt es der Menschheit nicht, die Erderwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen, wird sich der Polardorsch weiter nach Norden zurückziehen. Da er für die Überwinterung auf das Meereis angewiesen ist, bleibt offen, wie sich die Bestände entwickeln, wenn die Eisflächen mit dem Klimawandel weiter schrumpfen. Eine Abnahme des Polardorschbestands wäre sicherlich katastrophal, weil er für viele Tiere in der Arktis eine wichtige Lebensgrundlage ist – für Robben, Seevögel oder auch Wale. ◆

Franziska Roeder



ONLINE

Mehr eindrucksvolle Bilder aus der Wissenschaft finden Sie hier:

→ www.helmholtz.de/wissenschaftsbild

TITELTHEMA

- 08** **Darf's ein bisschen weniger sein?**
Über gesunde Ernährung und unseren Fleischkonsum
- 14** **Fleischlos glücklich?**
Alternativen zu Schnitzel & Co

WISSENSCHAFTSBILD

- 02** **Auf der Flucht**

INFOGRAFIK

- 06** **Diabetes**
Wie erkennt man Diabetes und wie unterscheiden sich Typ 1 und Typ 2?

STANDPUNKTE

- 24** **Brauchen wir eine CO₂-Steuer?**
Zwei Blickwinkel: Markus Groth und Sonja Peterson
- 30** **Künstliche Intelligenz**
Mensch und Maschine müssen ihr Verhalten beiderseits nachvollziehen können, findet Samer Schaat

PORTRÄT

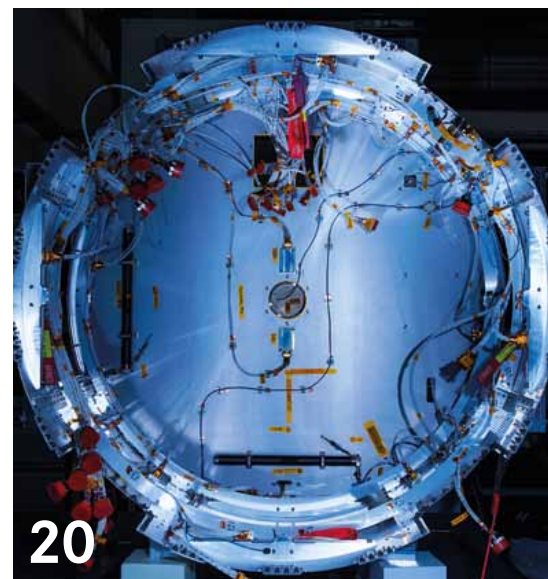
- 40** **Dörte Rother**
Meisterin der Enzyme

FORSCHUNG

- 07** **Helmholtz extrem**
Die schnellste 3D-Tomografie
- 16** **Helmholtz kompakt**
Neues aus der Welt der Helmholtz-Gemeinschaft
- 19** **Resonator-Podcast**
Open Access & Publikationen
- 20** **Komposter im Orbit**
Winzlinge trotzen in einem Satelliten der Schwerkraft und wandeln Urin in Nährstoffe um
- 26** **Auf der Jagd**
Wie Forscher seltene Erden aufspüren oder aus Schrott recyceln
- 31** **Nachgefragt**
Warum ist Schnee weiß?
- 32** **Saubere Sache**
Wie Wasserstoff nun im großen Stil nutzbar gemacht werden soll
- 36** **JWD**
Im Land der gefährlichen Viren

EXPERIMENT

- 43** **Kleine Forscher**
Das Glasauge



IMPRESSUM

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

Herausgeber
Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren e. V.

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

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

Redaktion
Kristine August, Annette Doerfel, Kai Dürfeld, Christian Heinrich, Elena Hungerland, Kilian Kirchgeßner, Lars Klaaßen, Roland Koch, Franziska Roeder, Antonia Roetger, Ulrike Schneeweiß, Isabell Spilker, Martin Trinkaus

Bildnachweise
Titel/Umschlag: Stephanie Lochmüller (Collage), rawpixel.com/Freepik, akf/Fotolia; S. 4-5: Strannik_fox/Shutterstock, rawpixel.com/Freepik, DLR/Eastgate Pictures, Damnong Rattanapong/Shutterstock, Sascha Kreklau, Dragos Lucian Birtoiu/Shutterstock, David Ausserhofer; S. 6: Franziska Roeder, MicroOne/Fotolia, ii-graphics/Fotolia; S. 8-9: Strannik_fox/Shutterstock, rawpixel.com/Freepik; S. 10-11: Audrius Merfeldas/Fotolia; stockcreations/Shutterstock, whitestorm/Fotolia; S. 12: photos/Fotolia; S. 13: Rudie/Fotolia, blende11.photo/Fotolia; S. 14: www.aspergillus.org.uk, BillionPhotos.com/Fotolia,

dule964/Fotolia, Es75/Shutterstock, Trum Ronnarong/Shutterstock; S. 15: Pixabay, Brad Pict/Fotolia, Dmytro Sukharevskiy/Fotolia, mosa meat; S. 17: photocrew/Fotolia, Africa Studio/Fotolia; S. 18: Amadeus Bramsiepe/KIT; S. 19: Freepik; S. 21: 1xpert/Fotolia, DLR; S. 22: Pixabay, DLR; S. 24-25, 30: Jindrich Novotny; S. 26-27: Damnong Rattanapong/Shutterstock; S. 27: Frank Rumpfenhorst/dpa; S. 29: Leonid/Fotolia; S. 31: www.aspergillus.org.uk; S. 32: peterschreiber.media/Fotolia; S. 34-35: hopsalka/Fotolia, peterschreiber.media/Fotolia, Infografik: Forschungszentrum Jülich/Seitenplan; S. 36-37: Dragos Lucian Birtoiu/Shutterstock; S. 38: Verena Meier; S. 41: Sascha Kreklau; S. 43: Tanja Hildebrandt

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

Papier Arctic Volume white **ISSN** 2197-1579





Liebe Leserinnen, liebe Leser,

na, halten Sie Ihre guten Vorsätze für 2019 noch ein? Oder sind sie längst vergessen? Nach der Weihnachtsschlemmerei nehmen sich viele vor, gesünder zu essen. Doch welche Ernährung ist für den Körper eigentlich ideal? Und wieviel Fleisch darf auf dem Teller landen? Das erfahren Sie in unserer Titelseitegeschichte „Darf’s ein bisschen weniger sein?“

Um Essen geht es auch am Rande dieser Geschichte: Helmholtz-Forscher haben ein spezielles Kompostierverfahren entwickelt, das zurzeit in einem Satelliten im Orbit kreist und hier Stoffkreisläufe schließt, nebenbei Tomaten ernährt und sogar ganz irdische Probleme lösen kann.

In die Ferne geht es regelmäßig auch für Gérard Krause. Wir begleiten den Epidemiologen bei seinen Reisen nach Afrika, wo er versucht, mit modernster Technik die Ausbreitung von Ebola und anderen Krankheiten einzudämmen.

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

Annette Doerfel
Chefredakteurin

→ Abonnement

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



Diabetes

Rund 7,5 Millionen Deutsche sind an Diabetes erkrankt. Weitere 2 Millionen Betroffene sind sich ihrer Erkrankung nicht bewusst. Wie erkennt man die unterschiedlichen Diabetes-Typen und welche Ursachen und Behandlungsmethoden gibt es?

TYP 1



- 5 Prozent der Menschen mit Diabetes
- meist unter 40 Jahre
- eher schlank
- Symptome: Müdigkeit, starkes Durstgefühl, häufiger Harndrang, Acetongeruch im Atem

TYP 2

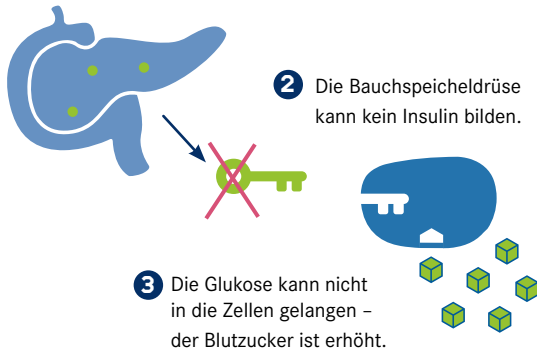


- 95 Prozent der Menschen mit Diabetes
- meist über 40 Jahre, zunehmend jüngere Menschen
- eher übergewichtig
- Symptome: zunächst keine Beschwerden, im späteren Stadium Müdigkeit, Schmerzen und Durchblutungsstörungen an Füßen und Händen, schlechte Wundheilung, Sehstörungen

URSACHEN

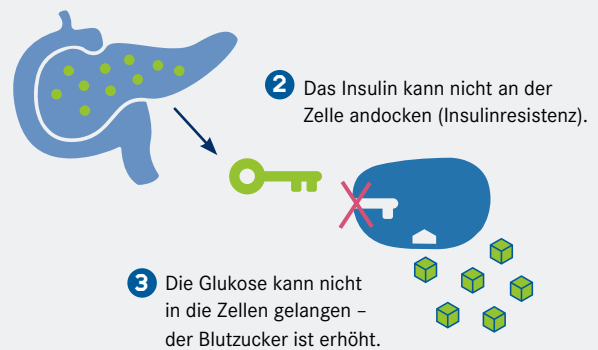
Auslöser: Autoimmunerkrankung. Genaue Auslöser nicht bekannt, aber genetische Veranlagung und bestimmte Umweltfaktoren können eine Rolle spielen.

- 1 Das Immunsystem zerstört die Betazellen der Bauchspeicheldrüse.



Auslöser: in der Regel Übergewicht und Bewegungsmangel, erbliche Faktoren.

- 1 Die Bauchspeicheldrüse bildet Insulin.



BEHANDLUNG

- lebenslange und regelmäßige Blutzuckerkontrolle und Insulingabe
- bislang gibt es keine Heilung

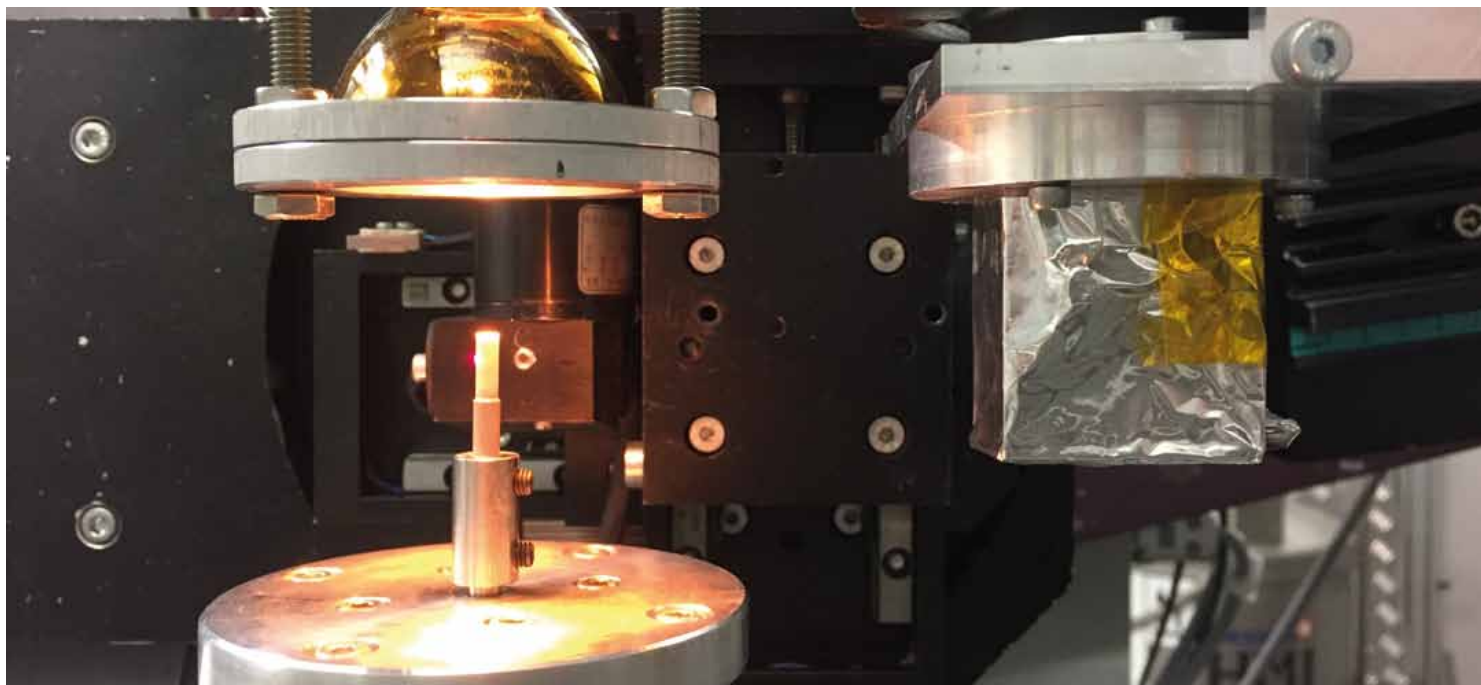
- Diät und körperliche Bewegung können Beschwerden eindämmen
- je nach Schwere Antidiabetika- und Insulingabe

Mit einer deutschlandweiten Kampagne wird zurzeit auf Plakaten über Diabetes Typ 1 informiert, um Risikopatienten zu sensibilisieren. Mehr Informationen: → aworldwithout1.de

Quellen: Diabetesinformationsdienst München und Deutscher Gesundheitsbericht Diabetes 2019 der Deutschen Diabetes Gesellschaft

HELMHOLTZ extrem

Die schnellste 3D-Tomografie



Schnell gedreht Die Infrarotlampe (oben) erhitzt die rotierende Probe auf bis zu 800 Grad Celsius. Die Röntgenstrahlen (von links) treffen auf die Probe. Die durchgelassenen Strahlen werden von der Spezialoptik (rechts) aufgezeichnet. Bild: HZB

Bekannt ist das Prinzip aus der Medizin: Mit 3D-Tomografien können Ärzte jede Schnittebene im Körper anschauen, die dazugehörigen Bilder werden aus Röntgendaten oder MRT-Daten errechnet. Doch 3D-Tomografien sind auch für die Materialforschung spannend. Um dynamische Prozesse im Innern von Materialien zu beobachten, brauchen die Wissenschaftler sehr präzise und auch sehr schnelle Aufnahmen.

Die bisher schnellsten 3D-Tomografien sind nun an der Röntgenquelle BESSY II gelungen, die das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB) betreibt. Ein Team um Francisco García-Moreno hat dafür einen Drehtisch konstruiert, der sich mit nahezu perfekt konstanter Geschwindigkeit um seine Achse dreht. Schon kleinste Varianzen in der Drehgeschwindigkeit oder minimales Spiel in der Drehachse würden es unmöglich machen, aus den Röntgendaten hochaufgelöste 3D-Tomografien zu errechnen. Mit dem speziellen Drehtisch und einer selbst entwickelten, extrem schnellen Spezialoptik schaffte es das HZB-Team jedoch, pro Sekunde

25 dreidimensionale Tomografiebilder zu erstellen. Das ist Weltrekord!

Als Anwendungsbeispiel untersuchte das Team Granulate aus Aluminiumlegierungen, die beim Erhitzen aufschäumen. Alle 39 Millisekunden entstand eine komplette 3D-Tomografie. So lässt sich nun der Prozess beim Schäumen genau analysieren. „Wir wollen verstehen, wie sich die Poren in den Körnern bilden und ob sie auch Oberflächen erreichen“, erklärt García-Moreno. Das interessiert auch die Industrie: Alukörnchen könnten beim Aufschäumen komplexe Formteile bilden, deren Stabilität aber davon abhängt, wie die Körner miteinander verbunden bleiben. Mit der ultraschnellen 3D-Tomografie lässt sich dieses Aufschäumen nun wie unter einer Zeitlupe beobachten.

Die Methode wird durch das Team um García-Moreno nun an der Swiss Light Source am Paul Scherrer Institut aufgebaut und weiter verbessert.

Antonia Rötger



ONLINE

Alle Ausgaben von
HELMHOLTZ extrem
unter:

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







DARF'S AUCH EIN BISSCHEN
WENIGER

SEIN? —

Die Wissenschaft ist dem Rätsel des gesunden Essens auf der Spur: Welche Ernährungsweise für den Körper ideal ist, welche Rolle Fleisch dabei spielt und was von den modischen Fastenkuren zu halten ist – das ist mittlerweile gut untersucht.



tapeln wir einige Steaks auf einen Teller, 200 Stück, um genau zu sein. Ein solcher Berg an Steaks würde in manchem Restaurant bis an die Decke reichen. So viel Fleisch isst jeder Deutsche im Schnitt pro Jahr.

Genau genommen rund 60 Kilogramm, darin sind natürlich nicht nur Steaks enthalten, sondern auch Wurst, Schinken, Fisch, Geschnetzeltes. Klingt viel, andererseits geht es ja um den Jahreskonsum. Bricht man die Zahl herunter auf eine Woche, kommt man auf knapp 1,2 Kilogramm Fleisch. Das sind in etwa: zwei Steaks, zwei große Packungen Wurst, zwei Portionen Fleischsalat, einmal Geschnetzeltes und ein Hähnchenbrustfilet. Ist das zu viel? Unproblematisch?



Wer Fleisch isst, sollte nicht mehr als 300 bis 600 Gramm wöchentlich verzehren.

Was genau macht das Fleisch in unserem Körper, welche Probleme kann es verursachen? Ist es womöglich der Gesundheit zuträglich, Fleisch zu essen? Oder sollte man bewusst darauf verzichten? Auf diese Fragen finden Forscher zunehmend verlässliche Antworten. So kommt es nicht nur darauf an, wie viel Fleisch man isst, sondern auch darauf, welches Fleisch.

Aber bleiben wir zunächst beim Wieviel. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt: Wer Fleisch isst, sollte nicht mehr als 300 bis 600 Gramm wöchentlich verzehren. „Diese Empfehlungen sind letztlich das Konzentrat aus



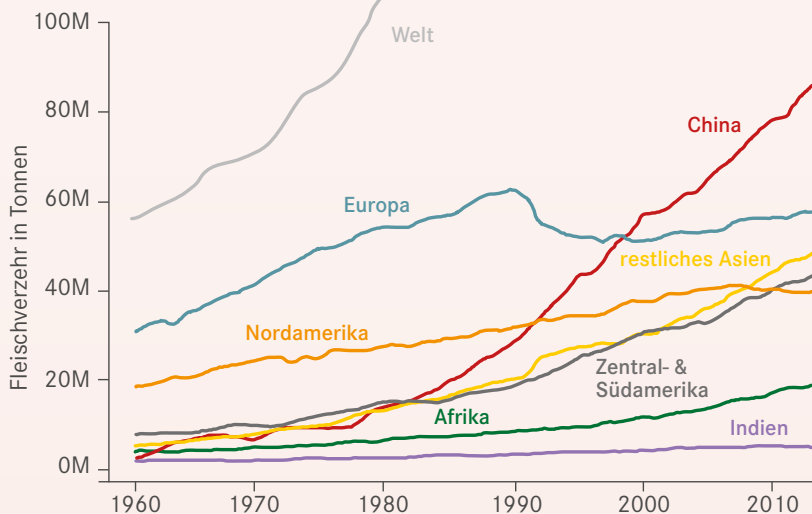
Tausenden Studien zum Thema und entsprechen damit dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand“, sagt Tilman Kühn, Leiter einer Arbeitsgruppe für Ernährungsepidemiologie am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg. Das ist gerade einmal die Hälfte der aktuell in Deutschland verzehrten Fleischmenge. Während dieser Wert hierzulande in den vergangenen Jahren konstant auf hohem Niveau geblieben ist, wächst die Nachfrage weltweit drastisch: zwischen den Jahren 1990 und 2013 um rund 30 Prozent.

Der übermäßige Fleischkonsum ist wegen des Ressourcenverbrauchs nicht nur ökologisch problematisch. Kühn zufolge bringt er auch mehrere gesundheitliche Risiken mit sich: So werden bei der starken Erhitzung von Fleisch gleich mehrere potenziell schädliche Substanzen

Auf den Geschmack gekommen Vor allem in Asien, Zentral- und Südamerika essen immer mehr Menschen Fleisch. Die Nachfrage hat weltweit zwischen den Jahren 1990 und 2013 um 30 Prozent zugenommen.

Quelle: www.fao.org/faostat/en/?#data

FLEISCH FÜR DIE WELT





DARF'S AUCH EIN BISSCHEN
WENIGER
SEIN? — —

Tilman Kühn vom DKFZ hat diese Vermutung vor Kurzem zusammen mit Kollegen in einer größeren Studie untersucht, doch sie konnten keine Zusammenhänge zwischen der Konzentration des Eisenspeicherproteins Ferritin im Blut und verschiedenen Krebsarten nachweisen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch andere Studien. Eine weitere These: Viren und Mikroorganismen aus dem roten Fleisch können im Verdauungstrakt des Menschen Entzündungsprozesse auslösen, die bis hin zu Krebs führen. Kühn hält dies für möglich – doch wissenschaftliche Beweise, dass dies das erhöhte Krebsrisiko durch rotes Fleisch hinreichend erklärt, liegen bislang noch nicht vor. Fest steht: Im Vergleich zu rotem Fleisch scheint weißes Fleisch von Fisch und Geflügel in Maßen ein vergleichsweise geringes Gesundheitsrisiko mit sich zu bringen.

„Übermäßiger Fleischkonsum kann nachweislich die Entstehung von Herz-Kreislauf-Krankheiten und Diabetes begünstigen.“

gebildet, darunter sogenannte heterozyklische Amine und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), durch Pökeln – also eine Behandlung, die das Fleisch haltbarer macht – entstehen auch Nitrosamine. All diese Substanzen können die Entstehung von Krebserkrankungen begünstigen, vor allem erhöhen sie das Darmkrebsrisiko. Methoden wie das Pökeln und das starke Erhitzen kommen besonders bei industriell verarbeitetem Fleisch zum Einsatz, dazu zählen etwa Wurst und Schinken. Entsprechend sind verarbeitete Fleischprodukte laut Kühn besonders ungesund.

Auch sogenanntes rotes Fleisch wie beispielsweise von Rind und Schwein scheint dem Körper zuzusetzen, ein erhöhter Verzehr geht mit einem größeren Risiko für die Entstehung von Darmkrebs einher. Warum ausgerechnet rotes Fleisch so problematisch ist, darüber gibt es verschiedene Theorien. Die sogenannte Eisenlasthypothese stützt sich darauf, dass in rotem Fleisch eine vergleichsweise hohe Menge an Eisen enthalten ist. Es wird seit längerem vermutet, dass hohe Mengen an Eisen im Blut das Krebsrisiko steigern.

Vom Standpunkt einer gesunden Ernährung betrachtet gibt es also eine Art Hierarchie: Idealerweise sollte gar kein industriell verarbeitetes Fleisch und nur in geringen Mengen rotes Fleisch konsumiert werden. Weißes Fleisch kann in angemessenen Mengen hingegen bedenkenlos verzehrt werden.

Natürlich enthält Fleisch auch Substanzen, die für den Körper wichtig sind; darunter Vitamin B12, Eisen, Selen und Zink. Fisch ist zusätzlich noch reich an Omega-3-Fettsäuren und Jod. Doch Fleisch, selbst unbehandeltes weißes Fleisch, hat eben auch Bestandteile, die für die Gesundheit problematisch sein können. So ist beispielsweise in der Regel der Fett- und Cholesterinanteil in Fleisch recht hoch. „Übermäßiger Fleischkonsum kann nachweislich die →



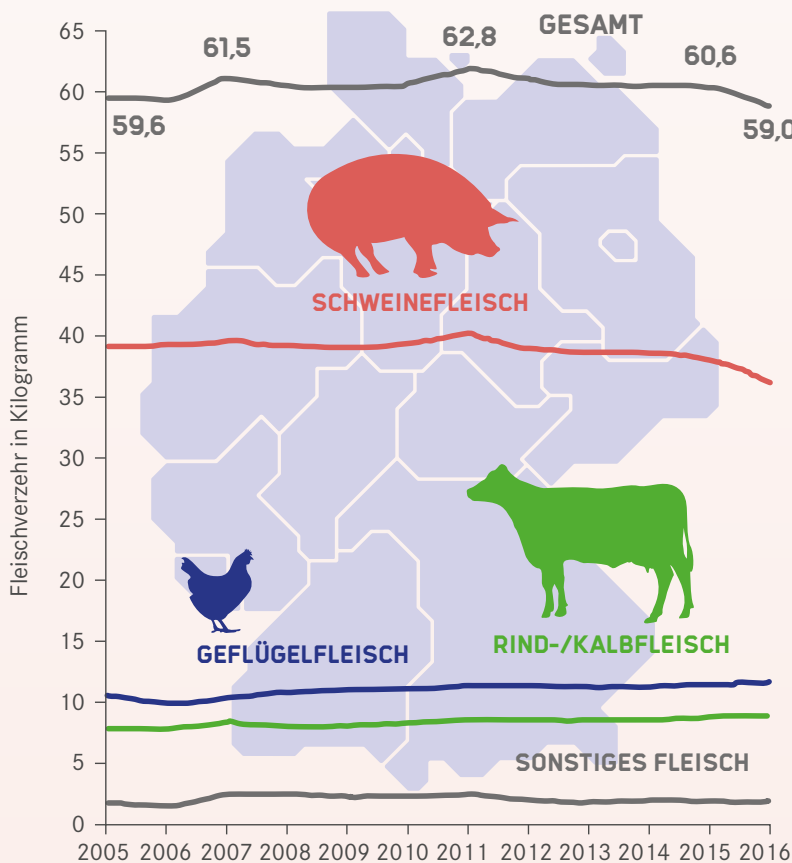


Entstehung von Herz-Kreislauf-Krankheiten und Diabetes begünstigen“, sagt Hans Hauner, Professor für Ernährungsmedizin und Leiter der klinischen Kooperationsgruppe „Nutrigenomics und Typ-2-Diabetes mellitus“ zwischen der Technischen Universität München und dem Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU). Darüber hinaus enthält Fleisch auch einiges von einer Substanz namens Arachidonsäure – einer Omega-6-

Fettsäure – und ihrer Stoffwechselprodukte. „Sie provoziert das Immunsystem, es kann zu einer Entzündungsreaktion kommen, die wiederum für den Körper eine Belastung ist“, sagt Hauner. Diese Entzündungsreaktionen hängen von der Menge an Fleisch und Fleischprodukten ab und werden meist gar nicht bemerkt. Doch sie setzen den Organismus unter Stress.

„Wer vollwertig vegetarisch isst, dessen Körper fehlt nichts. Im Gegenteil, wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge ist eine vegetarische Ernährung sogar sehr gesund.“

ETWAS WENIGER IST NICHT GENUG



Sollte man sich also vegetarisch ernähren? Laut Kühn lebt ein Vegetarier gesünder als jemand, der größere Mengen Fleisch isst: „Wer vollwertig vegetarisch isst, dessen Körper fehlt nichts. Im Gegenteil, wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge ist eine vegetarische Ernährung sogar sehr gesund.“ Lediglich bei einer veganen Lebensweise, bei der neben Fleisch auch alle anderen tierischen Produkte wie Eier und Milch auf der Verzichtliste stehen, ist es nötig, einzelne Substanzen wie Vitamin B12 durch Nahrungsergänzungsmittel zu ersetzen. „Beachtet man das, kann auch eine vegane Ernährung gesund sein“, sagt Kühn.

In diese Richtung weist ein dem steigenden Fleischkonsum gegenläufiger Trend: hin zur vegetarischen und veganen Lebensweise. Vor allem in Großstädten entstehen vegane Restaurants, in vielen Supermärkten gibt es längst gekennzeichnete Regale mit veganen Waren. Die meisten

Schwein gehabt? Schweinefleisch ist in Deutschland die am meisten verzehrte Fleischart. Seit 2011 geht der Fleischkonsum leicht zurück – um 6,1 Prozent.

Quelle: Fleischatlas 2018; AMI



Menschen bewegen sich wohl irgendwo in der Mitte zwischen einer sehr fleischhaltigen und einer streng veganen Ernährung. Doch es kommt nicht nur beim Fleisch auf die Menge an. Wissenschaftler konnten wiederholt zeigen, dass eine sogenannte niedrig-kalorische Diät – das bedeutet letztlich nichts anderes, als weniger zu essen – der Gesundheit zuträglich ist und sogar das Leben verlängert.

Beim Fasten wird dieses Konzept auf die Spitze getrieben. Der Körper und sein Stoffwechsel leiten eine Art Selbstreinigung in die Wege, man entgiftet sich ein Stück weit, Stichwort „Detox“ – so zumindest eine weit verbreitete Meinung. Inwiefern das zutrifft, hat Tilman Kühn vom DKFZ in einer Studie untersucht, die vor wenigen Wochen im Fachmagazin „The American Journal of Clinical Nutrition“ erschienen ist. Dabei hat man 150 Probanden in drei Gruppen unterteilt: Ein Drittel ernährte sich zwölf Wochen nach einer herkömmlichen Reduktionsdiät, bei der die Kalorienaufnahme um 20 Prozent gesenkt wurde. Eine zweite Gruppe verschrieb sich dem sogenannten Intervallfasten, besser bekannt als 5:2-Diät. Bei der 5:2-Diät fastet man zwei Tage in der Woche. Beide Diäten sind in Deutschland derzeit äußerst populär. Die dritte Gruppe verfolgte als Kontrollgruppe keinen kalorienreduzierten Ernährungsplan.

Das Ergebnis der Studie: Fasten bringt in Bezug auf Körpergewicht und Stoffwechselgesundheit Vorteile gegenüber einer normalen Ernäh-

rung – nicht aber gegenüber einer niedrig-kalorischen Diät. „Das Entscheidende scheint für die Gesundheit zu sein, dass man insgesamt weniger isst. Ob man nun in einem bestimmten Zeitraum gar nichts isst oder einfach insgesamt weniger, spielt dabei offenbar keine wesentliche Rolle“, sagt Kühn. Womöglich falle es den Menschen aber leichter, weniger zu essen, wenn sie durch das Fasten eine Art Rahmen mit klaren Regeln haben. Betrachtet man es so, ist das Fasten also eine Art Selbsterziehung.

„Das Entscheidende scheint für die Gesundheit zu sein, dass man insgesamt weniger isst.“

Einige andere Faktoren sind der Gesundheit ebenfalls zuträglich: mehrere Portionen Obst und Gemüse am Tag. Bei Brot, Nudeln, Reis und Mehl eher für Vollkorn entscheiden. So wenige industriell verarbeitete Produkte wie möglich. Salz und Zucker sparsam einsetzen. Langsam und bewusst essen. Mindestens 1,5 Liter Wasser täglich trinken, möglichst keine gesüßten Getränke. Und eben idealerweise auch höchstens zwei Mal die Woche Fleisch essen, insgesamt nicht mehr als 600 Gramm. Dann schmeckt es an den jeweiligen Mahlzeiten auch besonders gut. ♦

Christian Heinrich



ONLINE

Was bringt Intervallfasten?
Mehr dazu unter:

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



FLEISCHLOS GLÜCKLICH?

Aus gesundheitlichen und ökologischen Gründen sollten wir weniger Fleisch essen. Doch das Bedürfnis nach einem saftigen Schnitzel, Würstchen oder Steak ist stärker als die Vernunft. Dabei stehen bereits heute Alternativen zu herkömmlichem Fleisch im Supermarktregal – und künftig kommen noch einige neue hinzu. Ein Überblick.



HÜLSENFRÜCHTE

Tofu kennt jeder, weniger bekannt ist allerdings Tempeh – gekochte Sojabohnen, die mit Pilzzellen versetzt werden, welche wachsen und die Bohnen zu einer festen Masse verbinden. Tempeh lässt sich braten, frittieren oder als Suppeneinlage verwenden. Seit einigen Jahren auf dem Markt sind Produkte aus Proteinen der Süßlupine, die aus ihren Samen gewonnen werden. Relativ neu sind zwei Hülsenfruchterzeugnisse als Ersatz für Burgerfleisch: zum einen der „Impossible Burger“ aus Soja- und Kartoffelproteinen und Häm – einem zentralen Bestandteil des Blutes –, welches für den Burger von Hefen hergestellt wird. Dies soll ihn besonders saftig und geschmacksintensiv machen. Zum anderen der „Beyond Meat Burger“ aus Erbsenproteinen, Rote-Bete-Saft und Chiasamen.

😊 Große Produktvielfalt möglich. Sojaprodukte weisen eine dem Fleisch ähnliche Proteinzusammensetzung auf, sind aber frei von Cholesterin und enthalten einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren und Mineralstoffen. Tempeh enthält noch mehr Protein und ist leichter verdaulich. Lupinenprodukte enthalten weniger Fett, aber mehr Ballaststoffe. Die Süßlupine könnte relativ anspruchslos überall in Deutschland angebaut werden.

☹️ Der Eigengeschmack der Produkte ist oft gering, weshalb teils Geschmacksverstärker und Aromastoffe eingesetzt werden, um Fleischgeschmack zu erzeugen. Unklare Gesundheitswirkungen und Allergierisiken aufgrund vielzähliger Zusatzstoffe. Der größte Anteil der weltweit angebauten Sojabohnen stammt aus Brasilien und den USA und steht wegen der Anbaubedingungen (Monokulturen, Flächenverbrauch) in der Kritik.

INSEKTEN

In Asien, Südamerika und Afrika werden mehr als 2.000 unterschiedliche Insektenarten verzehrt. Die Tierchen werden getrocknet, frittiert oder zu Brei gemahlen. Seit einem Jahr sind Insekten in der EU als Lebensmittel zugelassen. Um die Akzeptanz bei Verbrauchern zu steigern, verarbeitet man sie meist als Mehl zu Brot, Proteinriegeln, Snacks oder Burgerpatties.

😊 Große Geschmacksvielfalt. Viele Insektenarten weisen einen hohen Protein- (25 bis 75 Prozent) und Fettgehalt (10 bis 70 Prozent) auf, der je nach Futtermittel noch erhöht werden kann. Zudem enthalten sie wichtige Nährstoffe, wie Eisen oder Magnesium, Vitamine sowie Ballaststoffe. Es gibt bislang allerdings wenige Studien zu Auswirkungen auf die Gesundheit. Die Tiere verbrauchen wenig Platz und Futter, sind fast komplett verwertbar und vermehren sich schnell.

☹️ Wenige Studien zu mikrobiologischen und toxikologischen Untersuchungen. Falls der Darm der Tiere vor der Verarbeitung nicht entfernt wird, könnten Krankheitserreger übertragen werden. Schadstoffe in Nahrungsmitteln könnten durch den Verzehr der Tiere aufgenommen werden. Die Akzeptanz bei Verbrauchern in Deutschland ist (noch) gering.



PILZE

Schimmelpilzkulturen werden in große Bioreaktoren gegeben und vermehren sich dort in einer Nährlösung. Daraus gewinnt man sogenannte Mykoproteine, welche erhitzt und mit Milch- oder Hühnereiproteinen versetzt werden, um eine teigartige Masse herzustellen. Diese wird zu Filets, Würstchen oder Hack verarbeitet.



Durch die Pilzstruktur ist die Konsistenz fleischähnlicher als bei Tofu oder Seitan. Die Mykoprotein-Erzeugnisse sind fett- und cholesterinarm und reich an Proteinen und Ballaststoffen. Die Nährlösung kann mit Vitaminen und Mineralien angereichert werden, um den Nährwert des Endproduktes zu erhöhen. Bioreaktoren verbrauchen weniger landwirtschaftliche Nutzfläche.



Energieintensiver Produktionsprozess. Bei einigen Menschen können Mykoprotein-Produkte eine allergische Reaktion auslösen.

FLEISCH AUS DEM LABOR

Statt Tiere zu schlachten, werden für die Herstellung von sogenanntem In-vitro-Fleisch lediglich tierische Muskelstammzellen verwendet. Diese werden in einem Nährmedium in Bioreaktoren vermehrt und bilden sich zu Muskelzellen und letztlich zu Muskelfasern aus. Rund 20.000 dieser kleinen Fasern werden für einen Burgerpatty benötigt.



In-vitro-Fleisch könnte eine umwelt- und tierfreundliche Alternative für Menschen sein, die nicht auf Fleisch verzichten wollen. Die Fleischzusammensetzung könnte im Labor kontrolliert verändert werden, beispielsweise der Fettgehalt reduziert und das Fleisch mit Vitaminen angereichert werden. Studien zu Effekten auf die Gesundheit liegen allerdings noch nicht vor.



Für eine breite Vermarktung von In-vitro-Fleisch müssten die Produktionskosten noch erheblich sinken. Die Herstellung erfordert die Zugabe von Antibiotika sowie für das Wachstumsserum meist noch die Entnahme von Blut aus Kälberföten. Fraglich ist die Akzeptanz in der Bevölkerung.

WEIZEN

Für die Herstellung von sogenanntem Seitan wird Getreide mit Wasser verknetet und dann so lange ausgewaschen, bis nur noch das Weizenprotein als Klumpen übrig ist. Es wird mit Wasser oder Gemüsebrühe und Gewürzen verknetet und im Wasserbad oder Backofen gegart.



Mit seiner Fähigkeit, Gewürze aufzunehmen, und seiner eher bissfesten Konsistenz kommt Seitan geschmacklich und textuell schon eher als Tofu an Fleisch heran.



Keine Alternative für Menschen mit Glutenunverträglichkeit. Produkte, die auf Seitan basieren, haben eine geringere Proteinqualität als vergleichbare Fleischprodukte. So fehlt beispielsweise die essenzielle Aminosäure Lysin, wodurch Seitan eine geringere biologische Wertigkeit als Soja oder Fleisch hat, das heißt daraus kann der menschliche Körper weniger Proteine aufbauen.



Annette Doerfel

ANALYSE „FLEISCH DER ZUKUNFT“ (noch nicht veröffentlicht)

des Instituts für Innovation und Technik (iit) im Auftrag des Umweltbundesamtes:

<http://bit.ly/fleisch-der-zukunft>

BROSCHÜRE „IN-VITRO-FLEISCH“

des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) am KIT:

<http://bit.ly/itas-in-vitro-fleisch>



→ HELMHOLTZ kompakt



Unzureichend geschützt Dukaten-Feuerfalter (*Lycaena virgaureae*) und Brauner Feuerfalter (*Lycaena tityrus*) Bild: Petra Druschky, Wandlitz

Artenschwund trotz Schutzgebieten

Obwohl die Artenvielfalt in Naturschutzgebieten größer ist als außerhalb, können diese den Artenschwund offenbar nicht aufhalten. Zu diesem Schluss kommen Forscher vom **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**. Sie untersuchten, wie viele Arten von Tagfaltern sich innerhalb und außerhalb des Schutzgebietssystems „Natura 2000“ tummeln, das sich quer durch die EU zieht. Dabei griffen sie auf die Langzeitdaten des Citizen-Science-Projekts „Tagfalter-Monitoring Deutschland“ zurück. Auf ungefähr 300 festgelegten Zählstrecken sind Freiwillige schon seit 2005 Woche für Woche unterwegs und dokumentieren sämtliche tagaktive Falter, die ihnen begegnen. Die Schmetterlingsfahnder zählten außerhalb der Schutzzonen im Schnitt 18 Arten,

innerhalb 21. Es zeigte sich allerdings, dass die Artenvielfalt zwischen 2005 und 2015 zurückgegangen war – sowohl innerhalb als auch außerhalb der geschützten Gebiete. Im Schnitt sank die Vielfalt von 19 auf etwa 17 Arten. Die Forscher vermuten als Ursache großräumige Effekte wie den Klimawandel oder den Einsatz von Pestiziden. Bislang gab es nur wenige Studien, die sich mit der Artenvielfalt in Naturschutzgebieten beschäftigten. Schon seit 1992 baut die EU ein System aus Schutzgebieten auf, das inzwischen mehr als 18 Prozent der Landfläche umfasst und ein wichtiger Baustein des europäischen Naturschutzes ist.

Originalpublikation: doi: 10.1111/ddi.12854

Ballaststoffe für Herz und Gefäße

Wie Ballaststoffe vor den Folgen von Bluthochdruck schützen, haben nun Forscher vom Experimental and Clinical Research Center (ECRC) herausgefunden, einer gemeinsamen Einrichtung des **Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin (MDC)** und der Charité. Eine Schlüsselrolle spielt dabei ein Molekül namens Propionsäure. Bakterien im menschlichen Darm stellen die Fettsäure aus den Ballaststoffen her, die mit der Nahrung aufgenommen werden. Mäuse mit Bluthochdruck, denen die Forscher Propionsäure ins Futter mischten, litten deutlich weniger an Herzschäden und anderen Folgeerkrankungen. Die Forscher fanden auch heraus, welcher Mechanismus hinter der schützenden Wirkung steckt: Propionsäure beruhigt bestimmte Immunzellen, die an der Entstehung der Herz-Kreislauf-Erkrankungen beteiligt sind. Propionsäure lässt sich kostengünstig herstellen und ist bereits als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen. Das Forscherteam möchte nun die Wirkung auf menschliche Probanden untersuchen. Die Wissenschaftler hoffen auf neue Ansätze für die Therapie von Herz-Kreislauf-Erkrankungen.



Originalpublikation: [doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036652](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036652)



Wolfgang Wernsdorfer (li.) & Hans-Reimer Rodewald Bilder: KIT & J. Jung/DKFZ

Leibniz-Preis für zwei Helmholtz-Forscher

Der Immunologe Hans-Reimer Rodewald und der Experimentalphysiker Wolfgang Wernsdorfer erhalten den mit 2,5 Millionen Euro dotierten Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Hans-Reimer Rodewald forscht am **Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ)** zum körpereigenen Abwehrsystem. Dabei untersucht er unter anderem, wie sich Immunzellen aus Stammzellen entwickeln, und schafft wichtige Grundlagen für die Entwicklung von Krebsimmuntherapien. Mithilfe fluoreszierender Farbstoffe ist es ihm gelungen, Immunzellen auf ihrem Weg im lebenden Organismus zu verfolgen. So lässt sich untersuchen, wie die Vielzahl verschiedener Zelltypen im Blut entsteht. Der Experimentalphysiker Wolfgang Wernsdorfer forscht am **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** im Bereich Quantencomputing und zählt zu den führenden Experten für molekulare Magnete, die etwa in künftigen Quantencomputern zum Einsatz kommen sollen. Quantenphysikalische Effekte können Anwendungen in vielen Bereichen extrem verbessern: Während herkömmliche Computer mit Bits, also mit den Werten Null oder Eins arbeiten, nutzen Quantencomputer als Recheneinheit Quantenbits. Bei diesen sogenannten Qubits existieren auch Werte zwischen null und eins. Dadurch können sie viele Rechenschritte parallel ausführen und Berechnungen um ein Vielfaches beschleunigen.

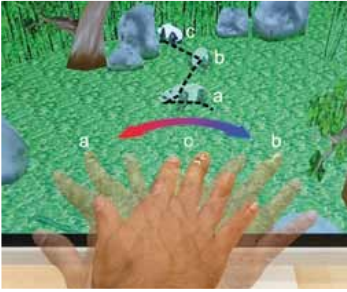
Mit dem Display fühlen

Auf dem Touchscreen der Zukunft können Nutzer Objekte nicht nur sehen, sondern auch ertasten. So lassen sich Eingabefelder oder Apps auch ohne Blickkontakt finden. Das wäre nicht nur für Sehbehinderte, sondern auch für Sehende hilfreich – beispielsweise beim Gehen, da hier die Augen auf die Umgebung gerichtet sein sollten. Der Physiker Bo Persson vom **Forschungszentrum Jülich** hat nun mit einem internationalen Team eine deutlich vereinfachte Methode vorgestellt, um die Interaktion mit solchen haptischen Touchscreens theoretisch zu beschreiben. Bislang war die Berechnung der Kräfte zwischen Finger und Display selbst mit den leistungsfähigsten Supercomputern nicht möglich. Auf Grundlage ihres Modells leiteten die Forscher bereits einen Vorschlag für Displaykonstruktionen ab, die einen verbesserten Tasteindruck vermitteln. Entscheidend für ein solches haptisches Display ist die sogenannte Gleitreibung des Fingers; sie bestimmt, ob der Nutzer die Displayoberfläche als rau oder glatt empfindet. Die Forscher untersuchten die Gleitreibung unter anderem in Abhängigkeit vom Fingerdruck und von der elektrischen Spannung.

Originalpublikation: [doi: 10.1073/pnas.1811750115](https://doi.org/10.1073/pnas.1811750115)



Elektronische Haut hilft bei der Orientierung



Im Experiment ließ sich mit einer hauchdünnen goldenen Folie auf dem Mittelfinger ein virtueller Panda mithilfe des Erdmagnetfelds steuern. Bild: G.S. Cañón Bermúdez/HZDR

Ein Forscherteam um Denys Makarov vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) hat einen elektronischen Magnetsensor entwickelt, der allein über die Interaktion mit dem Erdmagnetfeld bestimmen kann, wie sich ein Körper im Raum bewegt. Der Sensor aus einer hauchdünnen Polymerfolie lässt sich problemlos

auf der Haut tragen, was ihn gewissermaßen in einen Kompass verwandelt. Diese „elektronische Haut“ könnte nicht nur bei Problemen mit der Orientierung helfen, sondern auch den Zugang zur virtuellen Realität vereinfachen. Eine Testperson konnte eine Figur in einer virtuellen Realität mit nur einer Handbewegung steuern. „Auf der Folie haben wir elektronische Magnetsensoren aufgebracht, die kleinste geomagnetische Felder detektieren können“, erläutert Gilbert Santiago Cañón Bermúdez, der Erstautor der Studie.

Originalpublikation: doi: 10.1038/s41928-018-0161-6

DZNE-Forscher erhält hoch dotierten Preis



Der Neurobiologe Frank Bradke forscht am DZNE. Bild: DFG/David Ausserhofer

Den Nervenzellen des Rückenmarks fehlt die Fähigkeit zur Selbstheilung. Werden sie beschädigt oder durchtrennt, kann es zu einer dauerhaften Lähmung oder anderen schwerwiegenden Folgen kommen. Der Neurobiologe Frank Bradke, Arbeitsgruppenleiter am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE), forscht an neuartigen Therapien zur Behandlung dieser Verletzungen. In Laborversuchen konnten er und sein Team nachweisen, dass bestimmte Wirkstoffe beschädigte Nervenzellen zum Nachwachsen anregen und gleichzeitig die Vernarbung verringern. Für seine Forschung wurde der DZNE-Forscher nun mit dem mit 750.000 Euro dotierten Preis der Schweizer Roger-de-Spoelberch-Stiftung ausgezeichnet. ◆

Annette Doerfel, Elena Hungerland & Martin Trinkaus

Anzeige

EXPERIMENTE FÜR ZUHAUSE

NEUE EXPERIMENTIERBROSCHÜRE FÜR KINDER, JUGENDLICHE UND LEHRKRÄFTE

- bietet viele einfache und spannende Versuche zum Experimentieren aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Bereichen
- spielerische Erklärung von Fachbegriffen wie Dichte, Enzym oder Bionik
- ideales Unterrichtsmaterial für Lehrkräfte, um Schüler zu motivieren, selber zu experimentieren
- Beispiele: „Lochkamera zum Selberbauen“, „Blubberspaß mit Lavalampen“ oder „Elektrisch leitfähige Knete“



Die Broschüre gibt es **ZUM DOWNLOAD** unter: www.helmholtz.de/experimente



NETZWERK SCHÜLERLABORE IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Erst lesen, dann hören



Bislang müssen Bibliotheken Abonnements von Fachzeitschriften bezahlen. Die Open-Access-Bewegung präferiert den kostenlosen Zugang zu wissenschaftlichen Aufsätzen. Was sich am Publikationssystem ändern sollte, erklärt Bernhard Mittermaier, der Bibliotheksleiter am Forschungszentrum Jülich, in **Folge 146 des Resonator-Podcasts**.

Zwischen 2003 und 2018 gab es so viele wissenschaftliche Publikationen wie zuvor seit Beginn der Menschheitsgeschichte. Doch wie und warum entstehen so viele Veröffentlichungen? Der Begriff „Publish or Perish“ beschreibt den Druck für Forscher, viel in Fachzeitschriften publizieren zu müssen. „Man kann als Wissenschaftler in ein Ministerium oder in eine Bibliothek abbiegen, dann muss man nichts mehr veröffentlichen“, sagt Mittermaier: „Wenn man jedoch in der Wissenschaft bleiben möchte, muss man publizieren.“ Dabei komme es vor allem auf die Bekanntheit der wissenschaftlichen Zeitschrift an. Vom jetzigen Publikationssystem profitierten vor allem die großen Verlage: „Ihre Macht gründet

sich darauf, dass sie die Marke haben, die die Wissenschaftler benötigen. Oder zumindest glauben zu benötigen. Der Steuerzahler hat ein berechtigtes Interesse daran, dass kluge Köpfe Lösungen für die Probleme der Gesellschaft finden.“ Und diese müssten dann auch zugänglich gemacht werden.

Bislang müssen die Bibliotheken die teuren Fachzeitschriften abonnieren, damit die Texte für die ebenfalls mit Steuergeldern finanzierte Forschung verfügbar sind. Ein Vorschlag Mittermaiers: nicht mehr fürs Lesen, sondern fürs Publizieren bezahlen. Wenn die Forschungseinrichtungen die einmaligen Kosten dafür übernehmen würden, müssten die Steuerzahler nicht die Gewinnmargen der

Verlage mitfinanzieren, die entstehen, wenn viele Bibliotheken die Abonnements zahlen müssen.

Bernhard Mittermaier setzt sich für „Open Access“ ein – den freien Zugang zu wissenschaftlichen Texten im Internet. Mehr über seine vielfältigen Ideen zur Zukunft des Publikationssystems gibt es in Folge 146 des Resonator-Podcasts. ◆

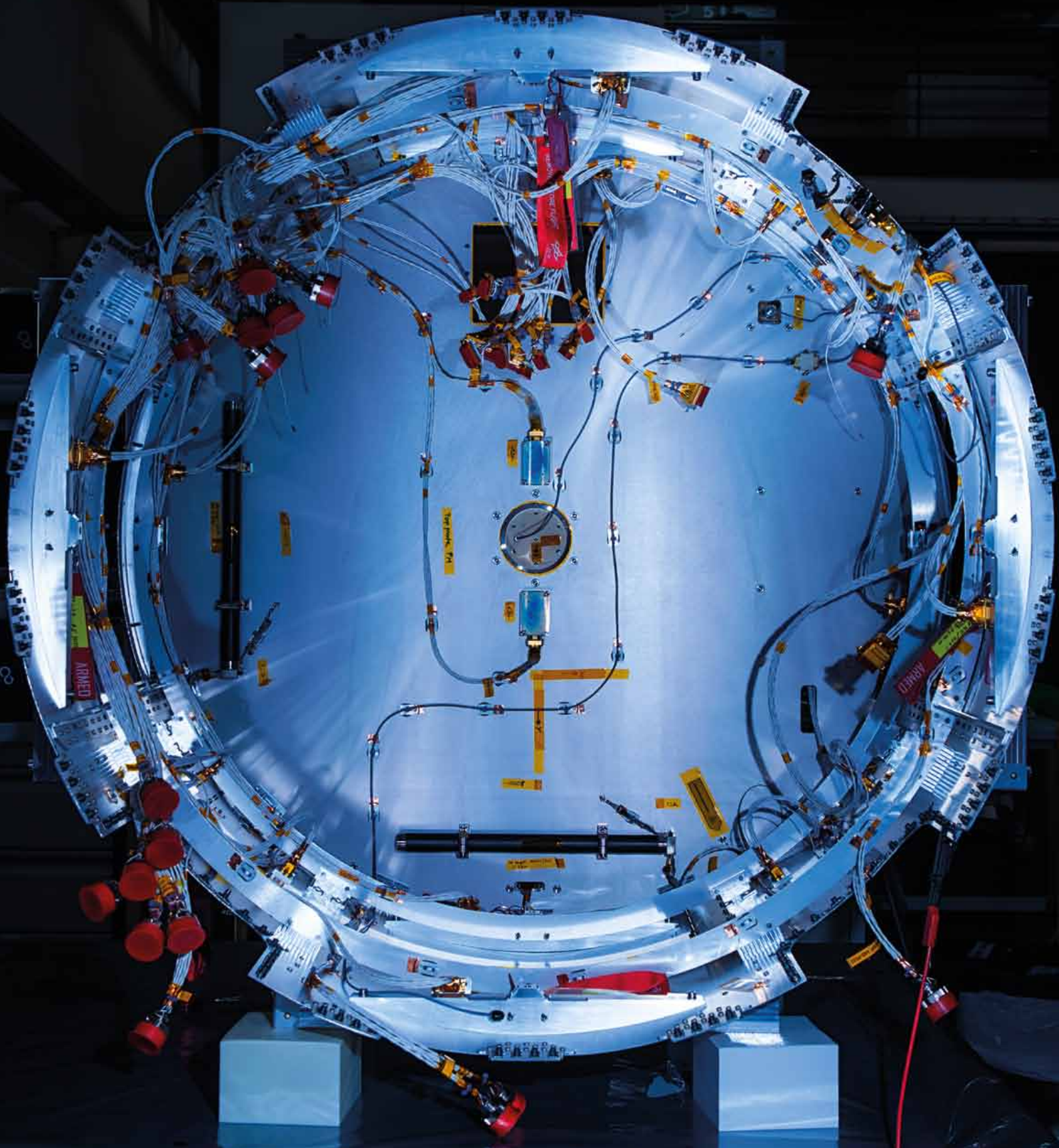
Elena Hungerland



AUDIO

Mehr Wissenschaft auf die Ohren gibt es hier:

→ www.helmholtz.de/resonator-146



Gut aufgehoben Blick in die Außenhülle des Satelliten, in die das biologische Experiment eingesetzt wird.
Bild: DLR, Eastgate Pictures

Komposter im Orbit

Lässt sich der Urin von Astronauten besser nutzen, wenn sie auf längerer Mission im Weltall unterwegs sind? Forscher entwickeln ein spezielles Kompostierverfahren, das zurzeit im Orbit Stoffkreisläufe schließt, mit seinen Düngemitteln Tomaten ernährt und nebenbei auch ganz irdische Probleme lösen kann.



Von außen betrachtet, sieht der Satellit Eu:CROPIS unspektakulär aus: eine Tonne, 100 Zentimeter im Durchmesser und 110 Zentimeter hoch, dazu vier Solarpaneele. Interessant wird es unter seiner silbrig glänzenden Haut: Dort finden in zwei Mini-Gewächshäusern Experimente statt, die für künftige Weltraummissionen eine entscheidende Bedeutung bekommen könnten. Seit Mitte Dezember 2018 kreist der Satellit inzwischen um die Erde, beobachtet von Wissenschaftlern aus mehreren deutschen Forschungsinstituten.

„Darüber, dass wir für lange Missionen im All unsere Nahrungsmittel vor Ort erzeugen müssen, sind sich die Kollegen einig“, sagt Jens Hauslage vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). „Wie die organischen Abfälle dann aber recycelt werden sollen, darüber hat sich kaum jemand Gedanken gemacht.“ Hauslage ist wissenschaftlicher Leiter der Eu:CROPIS-Mission – und will mit seinen Kollegen herausfinden, ob im Weltraum ein ähnlicher Kreislauf funktioniert wie auf der Erde. Dort wird totes Material zersetzt und umgewandelt und steht dann der nächsten Pflanzengeneration als natürlicher Dünger wieder zur Verfügung. „Dafür brauchen wir die Funktionalität des Bodens“, erklärt Hauslage, „aber das geht im Weltraum nicht so einfach. Wir können auf der ISS keinen Komposthaufen betreiben.“

„Die Tomaten sind für uns nichts weiter als ein Biosensor. Wir haben uns für sie entschieden, weil sie mit ihrer roten Farbe für die 16 Kameras sehr gut zu sehen sind.“

Eine mögliche Lösung ist der Filter, den die Forscher „C.R.O.P.“ genannt haben und der dem Satelliten auch seinen Namen gegeben hat: „Combined Regenerative Organic Food Production“ heißt er

ausgeschrieben, und Fachmann Hauslage bezeichnet ihn als „Rieselfilter“. Er imitiert den Boden auf der Erde und stellt die recycelten Nährstoffe – quasi den Kompost – in flüssiger Form bereit. So sollen dann in einem zweiten Schritt im Weltraum Tomaten wachsen. „In manchen Berichten hieß es, wir würden Tomaten im Weltall züchten“, sagt Jens Hauslage. „Dabei sind die Tomaten für uns nichts weiter als ein Biosensor. Wir haben uns deshalb für sie entschieden, weil sie mit ihrer roten Farbe für die 16 Kameras sehr gut zu sehen sind.“ Im Mittelpunkt seines Interesses steht der künstliche Urin, der im Filter verarbeitet wird – und generell die Frage, wie biologische Systeme unter veränderten Schwerkraftbedingungen zurechtkommen.

Antworten darauf sucht auch Michael Lebert. Er lehrt Zellbiologie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und verantwortet mit seinem Team die zweite wichtige Aufgabe an der Eu:CROPIS-Satellitenmission: Mit an Bord sind winzige Organismen, denen beim Wachstum der Tomaten eine besondere Rolle zukommt. Wenn die Tomaten keimen, übernehmen Einzeller die Versorgung mit Sauerstoff – sie betreiben Photosynthese. Außerdem entgiften sie bei Bedarf das System, denn hin und wieder kann es passieren, dass sich im C.R.O.P.-Filter zu viele Ammoniumionen anhäufen. Für die Pflanzen wäre das nicht besonders gesund. Die eingesetzten Einzeller hingegen fressen Ammonium sehr gern.

„Euglena gracilis“ heißen die Winzlinge, die Michael Lebert für die Experimente verwendet – besser bekannt als Augentierchen. „Wir finden bei Euglena zu einer Hälfte pflanzliche und zur anderen Hälfte tierische Gene“, erklärt Lebert. „Dieser Organismus betreibt zwar Photosynthese, ist aber keine Alge. Andererseits kann er sich wie eine tierische Zelle auf einer Oberfläche bewegen.“ Bereits seit er in Marburg botanische Physiologie studiert hat, ist Lebert von den kleinen Organismen fasziniert. Ganz besonders beschäftigt ihn →

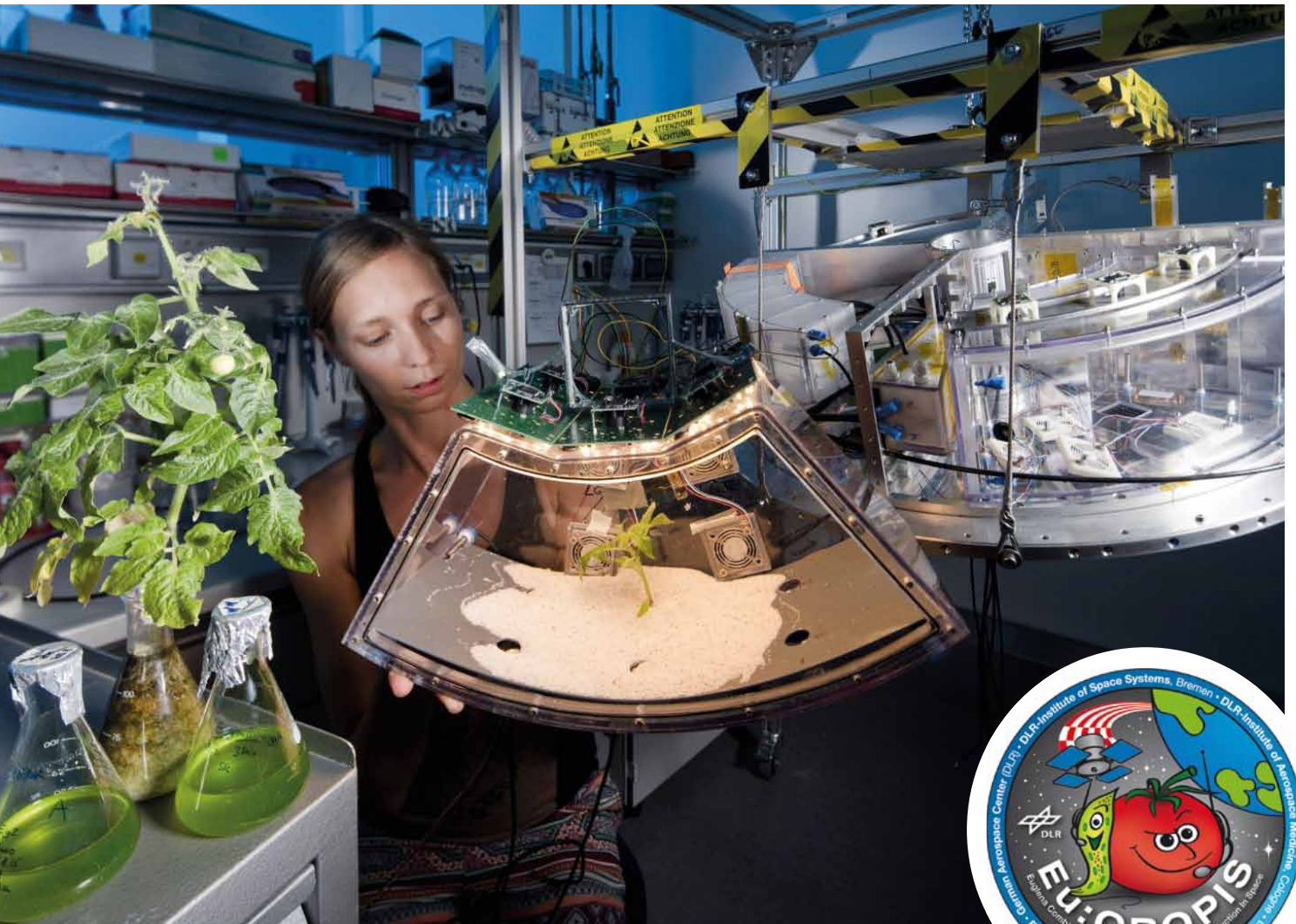


VIDEO

Mehr Informationen zur Eu:CROPIS-Mission:

→ www.helmholtz.de/eucropis





Tomate im All Auf die Reise geht übrigens die Tomatensorte „Micro-Tina“. Sie wächst schnell, bleibt aber kompakt. Bild: FAU Erlangen/ Kurt Fuchs



dabei die Frage, wie sie sich unter veränderten Schwerkraftbedingungen verhalten. Denn während sich Faktoren wie die Zusammensetzung der Atmosphäre, die Intensität des Sonnenlichts oder die Beschaffenheit des Bodens über die Epochen der Erdgeschichte hinweg geändert haben, ist die Gravitation der einzig konstante Reiz, der das Leben seit Jahrmilliarden beeinflusst. Wie seine Augentierchen auf den Wegfall dieses Reizes reagieren, haben Lebert und sein Team schon auf Parabelflügen und mit Experimenten auf der ISS untersucht. Nun folgen die Schwerkraftbedingungen von Mond und Mars, den wahrscheinlichsten Zielen bemannter Raumfahrt in den kommenden Jahren. Der Satellit Eu:CROPIS ist der erste Satellit, in dem künstliche Schwerkraft erzeugt wird. Dazu dreht er sich um seine eigene Achse. Während im Zentrum des Satelliten weiterhin Schwerelosigkeit herrscht, nimmt die Schwerkraft

in Richtung Außenwand zu.

Zuerst sollen für sechs Monate die Bedingungen auf dem Mond simuliert werden, danach weitere sechs Monate die auf dem Mars.

Um zu ergründen, wie ihre Schützlinge darauf reagieren, hat sich die Erlanger Arbeitsgruppe einiges ausgedacht. „Wir beobachten die Oberfläche des Euglena-Tanks mit einem Linienscanner“, erzählt Lebert. Dazu wird die Zellsuspension von der Seite angeleuchtet. Dann werden die Pumpen ausgeschaltet. Diese wälzen den Inhalt des Tanks normalerweise um. Denn Euglenen neigen dazu, sich festzusetzen und darunter würde die Entgiftungsarbeit leiden. Ohne diese sanfte, aber stete Strömung verteilen sich die Augentierchen an den Stellen, wo ihnen die Schwerkraft zusagt. Diese Ansammlungen streuen und absorbieren das Licht anders. Der Linienscanner nimmt diese Signale auf und die Wissen-

schaftler können erkennen, welche Schwerkraftwerte die Einzeller mögen und welche sie nicht mehr wahrnehmen können.

„Ich persönlich finde aber die genetischen Untersuchungen am spannendsten“, sagt Michael Lebert. „Dazu haben wir eine Analyseeinrichtung entwickelt, mit der wir Veränderungen an bis zu 500 Genen der Augentierchen beobachten können. Uns interessiert ja, was die Organismen gerade herstellen.“ Dazu haben sie ein aufwendiges Verfahren entwickelt, mit dem es erstmals gelingt, solche Untersuchungen im Weltall vorzunehmen. Ganz anders lief die Konstruktion des C.R.O.P.-Filters. Sein Herzstück ist Lavagestein, in dem verschiedenste Mikroorganismen leben, die den künstlichen Urin aufspalten sollen. „Beim typischen ingenieurtechnischen Ansatz würde man einzelne Organismen gezielt auswählen und unter sterilen Bedingungen einsetzen“, erklärt DLR-Forscher Jens Hauslage. „Von denen wird dann erwartet, dass sie miteinander kooperieren und ein biologisches System ermöglichen.“

„Mit C.R.O.P. eliminieren wir einen Problemstoff und gewinnen auf biologischem Wege ein hochwertiges Düngemittel.“

Dass dieser Ansatz gelingt, sei allerdings unwahrscheinlich. Aus eigener Erfahrung weiß der Gravitationsbiologe: „Entweder haben wir ein funktionierendes System, das wir aber nicht 100-prozentig verstehen. Oder wir haben eines mit wohldefinierten Organismen, das dann aber meist nicht funktioniert“, erklärt Hauslage.

Deshalb hatte es für ihn oberste Priorität, einen geeigneten Lebensraum anzubieten – welche Mikroorganismen genau sich darin ansiedeln, hat er ihnen selbst überlassen. „Die erste Community haben wir mit einem Löffel Gartenerde eingimpft. Die Organismen, die sich in diesem Habitat wohlfühlen, haben sich vermehrt und letztlich auch durchgesetzt.“

Ihren Spezialfilter können die Wissenschaftler inzwischen auch auf der Erde einsetzen. „Irgendwann meinte ein Kollege: ‚Warum schütten wir denn nicht mal Gülle auf den Filter?‘“, erinnert sich Jens Hauslage. Das häufige Problem der Überdüngung von Feldern und der Emission von Ammoniak könnte sich mit dem C.R.O.P.-Filter lösen lassen: In mehreren Testserien konnte er 100-prozentigen Urin und 100-prozentige Gülle zu einem nitratreichen und gut lagerfähigen Salz verstoffwechseln. „Ich spreche gern von einer Ver-

edlung der Gülle“, sagt der DLR-Forscher. „Denn mit C.R.O.P. eliminieren wir einen Problemstoff und gewinnen auf biologischem Wege ein wirklich hochwertiges Düngemittel.“ Auch Medikamentenrückstände können die Mikroorganismen aus dem Filter wirkungsvoll abbauen. ◆

Kai Dürfeld



Nähren und entgiften Die Augentierchen (Euglena) bauen das für die Tomatenpflanzen schädliche Ammoniak ab und produzieren den für deren Keimung notwendigen Sauerstoff. Bild: Science Photo Library/Stammers, Sinclair



Noch am Boden Forscher des DLR bereiten den Satelliten für die Mission vor. Bild: DLR

Brauchen wir eine CO₂-Steuer?

Um den Klimawandel einzugrenzen, müsste der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid drastisch reduziert werden. Doch reichen die bisherigen Anreize und Werkzeuge wie der Emissionshandel aus? Oder sollten wir eine CO₂-Steuer einführen? Zwei Blickwinkel.



Markus Groth

Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Klimafolgen und Ökonomie am Climate Service Center Germany (GERICS) des Helmholtz-Zentrums Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG)

„Eine CO₂-Steuer kann mehr bewirken, als ausschließlich Anreize für den Klimaschutz zu setzen. Durch eine angemessenen Ausgestaltung kann sie auch Einstieg und Basis für eine umfassende ökologische Steuer- und Finanzreform sein.“

Der IPCC-Sonderbericht „Global Warming of 1.5 °C“ hat gezeigt, dass bereits eine Erwärmung von 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau deutliche Folgen des Klimawandels mit sich bringen wird. Die gesamtwirtschaftlichen Schäden bis 2100 können dabei regional höher sein, wenn die globale Erwärmung zwei Grad Celsius erreicht. Alle für das 1,5-Grad-Ziel potenziell zielführenden Emissionspfade wiederum, setzen schnelle und weitreichende Emissionsminderungen und Systemübergänge in vielen gesellschaftlich und wirtschaftlich bedeutenden Bereichen voraus, wobei sie Synergien mit den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen aufweisen können.

Doch wie können wir es schaffen, die Weichen weiter in Richtung dieser notwendigen Transformation zu stellen? Mit dem Blick auf Europa und Deutschland machen es die bisherigen praktischen Erfahrungen mit dem europäischen Emissionszertifikatehandel schwer vorstellbar, dass er zeitnah so ausgeweitet werden kann, dass dadurch die notwendigen Anreize gesetzt werden können.

Wir benötigen kurzfristig vielmehr eine Lösung, die unmittelbar alle Emissionen erfasst und mit der auch ein klares klimapolitisches Bekennt-

nis auf nationaler Ebene verbunden ist. Beispiele von weltweit mehr als 70 Maßnahmen zur Bepreisung von CO₂ – beginnend mit der erstmaligen Einführung einer CO₂-Steuer 1990 in Finnland – zeigen, dass sich Steuern im Vergleich zu einem Emissionszertifikatehandel in der Regel schneller, zielgenauer und einfacher umsetzen lassen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sie sozial verträglich ausgestaltet werden, wie das Beispiel Schweden zeigt – das Land mit dem derzeit höchsten CO₂-Preis von über 110 Euro pro Tonne.

Eine CO₂-Steuer kann zudem mehr bewirken, als ausschließlich Anreize für den Klimaschutz zu setzen. Durch eine angemessene Ausgestaltung kann sie auch Einstieg und Basis für eine umfassende ökologische Steuer- und Finanzreform sein. Hierfür ist ein Großteil der Steuereinnahmen unter anderem für zukunftsfähige und gesellschaftlich nutzbringende Investitionen – beispielsweise in klimawandelangepasste Infrastrukturen – sowie zur Verringerung der steuerlichen Belastung von Arbeit einzusetzen. Bislang bleiben die sich dadurch bietenden Chancen für stärkeren Klimaschutz und eine gesellschaftlich notwendige Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit in Deutschland noch weitestgehend ungenutzt. ◆



„Nationale CO₂-Steuern sind die zweitbeste Lösung und sollten in jedem Fall eng auf das Emissionshandelssystem abgestimmt sein.“

Keine Frage: Mit einheitlichen Preisen für die Emission von CO₂ lässt sich Klimaschutz effizient erreichen, also zu minimalen Kosten. Prinzipiell lassen sich solche Preise sowohl durch eine CO₂-Steuer implementieren als auch durch ein Emissionshandelssystem (EHS), in dem sich ein Marktpreis für Emissionszertifikate bildet. Vieles spricht dafür, ein EHS mit einem Preiskorridor zu kombinieren. So würden die Vorteile beider Ansätze vereint. Allerdings sind für die Bepreisung von CO₂-Emissionen in Deutschland oder der gesamten EU die politischen Realitäten zu berücksichtigen.

Eine CO₂-Steuer auf EU-Ebene müsste einstimmig beschlossen werden, was derzeit politisch nicht umsetzbar ist. Das 2005 geschaffene EHS hingegen funktioniert heute bereits als klimapolitisches Instrument. Es deckt etwa die Hälfte der CO₂-Emissionen in der EU ab und macht es dank Deckelung der Zertifikate einfach, gesteckte Emissionsziele zu erreichen. Bei einer CO₂-Steuer dagegen wäre unklar, wie stark Emissionen tatsächlich sinken. Im EHS sind sogar die Vorteile einer Preissteuerung, soweit politisch möglich, durch die Stabilitätsreserve eingebaut. Daher gilt es, das EHS als Kernelement der EU-Klimapolitik

anzunehmen, es zu stärken und neue politische Schritte darauf abzustimmen.

Wären nationale CO₂-Steuern dennoch sinnvoll? CO₂-Steuern in Sektoren, die vom EHS erfasst sind, würden nicht zu einer Emissionsminderung führen, wenn nicht gleichzeitig dem System Zertifikate entzogen würden. Dies wäre also für die Effektivität notwendig. Gleichzeitig führen Steuern zu uneinheitlichen CO₂-Preisen in den EHS-Sektoren, was ineffizient ist: Die gleiche Emissionsminderung ließe sich kostengünstiger erreichen, wenn etwa ein Land Zertifikate aufkaufte und stilllegte. Für Sektoren außerhalb des EHS sollte zunächst geprüft werden, ob diese integriert werden können, wie es für den Verkehrssektor bereits diskutiert wird. So wird sichergestellt, dass in noch breiterem Kontext dort CO₂-Emissionen vermieden werden, wo es am günstigsten ist. Eine CO₂-Steuer kann dort sinnvoll sein, wo eine Integration in das EHS nicht möglich ist. Eine Studie des Instituts für Weltwirtschaft zeigt, wie Maßnahmen innerhalb und außerhalb des EHS generell aufeinander abgestimmt sein müssen, damit CO₂-Emissionen kosteneffizient gesenkt werden. Nationale CO₂-Steuern sind die zweitbeste Lösung und sollten in jedem Fall eng auf das EHS abgestimmt sein. ◆



Sonja Peterson
Wissenschaftliche Geschäftsführerin des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) in Kiel und Honorarprofessorin an der Christian-Albrechts-Universität Kiel



ONLINE

Diskutieren Sie mit uns unter dem folgenden Link:

→ www.helmholtz.de/blickwinkel



Auf Elemente-Jagd

Zu den Schlüsselressourcen im digitalen Zeitalter zählen die sogenannten seltenen Erdelemente. Die Nachfrage nach ihnen steigt rasant. Forscher erkunden deshalb unterschiedlichste Wege, um die Versorgung sicherzustellen – von ausgeklügelten Bergbau-Erkundungsverfahren bis zum Recycling.

Den neuen Begriff prägten Franziska Lederer und ihre Kollegen, als sie schon eine ganze Weile mit der komplizierten Technik arbeiteten: „Bio-Angeln“ nannten sie das Verfahren, mit dem sie schon bald die Rohstoffsuche revolutionieren könnten. „Bei dieser Methode geht es im Grunde darum, gezielt ein bestimmtes Material aus einem Partikelgemisch herauszufischen. Als Angel nutzt man Proteine, an die sich das gesuchte Material anlagert“, erklärt die Molekularbiologin. Mit dieser Technik sollten ursprünglich Antikörper für Krebszellen isoliert werden – „aber eigentlich“, überlegte Franziska Lederer, „müsste sich das Prinzip doch auch einsetzen lassen, um seltene Erden zu recyceln“.

„Seltene Erden sind gar nicht so selten, sie verstecken sich nur gut in der Natur.“

Franziska Lederer leitet am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) die Nachwuchsgruppe „BioKollekt“ und sucht mit ihren Kollegen nach Möglichkeiten, um die insgesamt 17 Elemente der seltenen Erden aus weggeworfenem Material wiederzugewinnen. Bislang gibt es für diese Elemente noch keine wirtschaftlich sinnvolle Recyclingmethode. Das sogenannte Phage Surface Display, für das sie später den Namen Bio-Angel prägte, erschien Lederer als hoffnungsvoller Weg. Um alles über die neuartige Technik zu lernen, machte sie sich im Jahr 2015 auf den Weg nach Kanada, wo die Pioniere sitzen, die die Methode erstmals für anorganisches Material verwendet hatten.

„Seit der Seltene-Erden-Krise rund um das Jahr 2011 sind diese Materialien viel stärker in den Blickpunkt gerückt“, sagt Jens Gutzmer. Der Geologe ist Direktor des HIF, das zum Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf gehört, und einer der renommiertesten Experten auf diesem Gebiet in Deutschland. In der Krise explodierten die Preise für die wertvollen Rohstoffe, die die Grundlage für fast alle Zukunftstechnologien bilden: Motoren von Elektroautos, hocheffiziente Generatoren von Windkraftanlagen, Plasmabildschirme und Leuchtdioden – überall dort spielen Metalle der seltenen Erden eine Schlüsselrolle. „Dabei ist der Begriff eigentlich unglücklich gewählt“, sagt Jens Gutzmer, „denn die seltenen Erden sind gar nicht so selten, sie verstecken sich nur gut in der Natur.“ In aufwendigen Trennverfahren müssen sie aus Erzen gelöst werden, was fast ausschließlich in China geschieht. Und weil weltweit die Nachfrage nach den kostbaren Elementen immer weiter ansteigt (siehe Kasten), suchen Wissenschaftler nach Möglichkeiten, auf die absehbare Verknappung des Rohstoffs und auf die steigenden Preise zu reagieren. „Im Wesentlichen gibt es drei Wege“, urteilt Jens Gutzmer: „Erstens könnte man die primäre Rohstoffproduktion steigern, zweitens stärker auf Recycling setzen und drittens versuchen, die seltenen Erden durch andere Materialien zu ersetzen.“

Forscher vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ arbeiten daran, das Auffinden von Lagerstätten effizienter zu gestalten. Sie suchen dabei



nach Methoden, wie sich die wertvollen Rohstoffe schneller charakterisieren lassen als durch komplizierte Probebohrungen. „Wir entwickeln dafür verschiedene Verfahren, mit denen wir aus Hyperspektraldaten die Materialzusammensetzung der Erdoberfläche analysieren können“, sagt Christian Mielke, der im Forschungsbereich Fernerkundung am GFZ arbeitet. Als Grundlage dienen Aufnahmen, die etwa von Satelliten und Flugzeugen aus oder auch aus dem Nahbereich gemacht werden: Die Forscher untersuchen dabei die Strahlung, die von der Objektoberfläche zum Sensor zurückgeworfen wird. „Weil jedes Mineral und jedes Element einen eindeutigen spektralen Fingerabdruck hat, lassen sich die Verfahren weltweit einsetzen“, sagt Mielke. Innerhalb weniger Tage stehen im Idealfall verlässliche Ergebnisse zur Verfügung.

„Unser Ziel ist es, den Bergbau zu unterstützen, damit die Rohstoffnutzung vom ersten Moment an umweltfreundlich und effizient möglich ist.“

Am GFZ gibt es, ähnlich wie auch am HIF, eine Reihe von Projekten, die sich mit diesen Fernerkundungsverfahren beschäftigen. Eins von ihnen – Reemap – hat gezielt die Suche nach seltenen Erden zur Aufgabe. Das von den Wissenschaftlern entwickelte Verfahren ist hochflexibel: Es funktioniert in nahezu allen potenziellen Testgebieten beliebiger Größe – und dient nicht nur zur Charakterisierung von Metallen der seltenen Erden, sondern auch von deren Begleitmineralen. „Unser Ziel ist es“, sagt Christian Mielke, „den Bergbau zu unterstützen, damit die Rohstoffnutzung vom ersten Moment an umweltfreundlich und effizient möglich ist.“ Der zweite Weg, dem Engpass bei den begehrten Materialien zu entgehen, ist das Recycling – jenes Feld, auf dem die →



SELTENE ERDELEMENTE

Die Metalle der seltenen Erden gelten als Schlüssel zu zahlreichen Zukunftstechnologien: Die 17 Elemente wie Scandium, Yttrium, Lanthan, Neodym oder Terbium kommen in Akkus und Bildschirmen zum Einsatz, aber auch in Dauermagneten, wie sie für die Generatoren in Elektromotoren benötigt werden.

Bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe schätzt man, dass China mit einem Marktanteil von mehr als 80 Prozent die weltweite Produktion von seltenen Erden dominiert. „Umfangreiche Regulierungsmaßnahmen der chinesischen Regierung leiteten (...) einen strukturellen Wandel des Sektors ein, dessen internationale Auswirkungen auch den deutschen Markt betreffen“, heißt es dort in einem Papier.

Die Ressourcen lagern allerdings in vielen Ländern der Welt, sie werden nur in den meisten Fällen nicht genutzt. Der Bedarf an den Metallen der seltenen Erden wird nach Expertenmeinungen in den kommenden Jahren deutlich steigen; in manchen Schätzungen ist von jährlichen Wachstumsraten im zweistelligen Prozentbereich die Rede.





▲ **Marktführer China** In der ostchinesischen Hafenstadt Lianyungang wird Sand, in dem seltene Erden enthalten sind, für den Export verladen. Der Abbau und die Verarbeitung der wertvollen Rohstoffe finden zu 80 Prozent in China statt. Bild: dpa

◀ **Leuchtstoff** Im Bild ist eine an der Luft oxidierte und mit gelbem Europium(II)-carbonat überzogene Europiumscheibe zu sehen. Dieses Element wird in Plasmabildschirmen, Energiesparlampen und Euro-Banknoten (Fluoreszenz gegen Fälschungen) verwendet. Mit ihren Bio-Angeln hat Franziska Lederer eine Methode entwickelt, seltene Elemente wie Europium aus Energiesparlampen wiederzugewinnen. Bild: Wikipedia/alchemist-hp (CC-BY-SA 3.0)

Molekularbiologin Franziska Lederer mit ihren Bio-Angeln forscht. Für ihr Verfahren nutzt sie Bakteriophagen, das sind auf Bakterien spezialisierte Viren. An sie werden Bruchstücke von Proteinen – sogenannte Peptide – gekoppelt.

„Die Peptide können kleine Taschenformen, in die bestimmte Mini-Strukturen passen“, erklärt Franziska Lederer, zum Beispiel eben ein Element der seltenen Erden. Wenn man die Bakteriophagen mit einem Partikelgemisch mischt, das verschiedene seltene Erden enthält, lassen sich einzelne Komponenten gezielt angeln.

Lederer forscht mit einer Milliarde Bakteriophagen, an die jeweils unterschiedliche Peptide gekoppelt sind. In aufwendigen Versuchen findet sie heraus, mit welchen Peptiden sich welches Material am besten angeln lässt. „Mit dieser Methode können wir spezifische Peptide gewinnen, mit denen wir unterschiedliche seltene Erden, aber auch gering konzentrierte Metalle wie Kupfer- oder Goldpartikel aus komplexen Gemischen isolieren können“, erläutert Lederer.

„Die Technologie, um das Recycling mit unserer Methode im industriellen Maßstab durchzuführen, wird im Horizont von zehn Jahren verfügbar sein.“

Derzeit forscht sie mit Leuchtpulver von Energiesparlampen, in dem vor allem die seltenen Erdelemente wie Terbium und Europium enthalten sind. „Bis zum Jahr 2020 dürften allein in der Europäischen Union etwa 25.000 Tonnen Leuchtpulver aus ausgedienten Energiesparlampen gesammelt werden“, sagt die Molekularbiologin – weil darin diese Elemente nur in geringer Konzentration vorkommen, lässt sich dieser Schatz an Rohstoffen bislang nicht wirtschaftlich heben.

„Die Technologie, um das Recycling mit unserer Methode im industriellen Maßstab durchzuführen, wird im Horizont von zehn Jahren verfügbar sein“, schätzt Lederer.

Der dritte Weg, mit der Knappheit von Metallen der seltenen Erden umzugehen, wäre es, sie durch

andere Materialien zu ersetzen – oder Produkte zu entwickeln, die weniger der kostbaren Rohstoffe benötigen. Auch hieran arbeiten Forscher; bei der Substitution liegt ein besonderes Augenmerk oft auf dem Dysprosim, das besonders selten vorkommt.

„Wir haben kein Verfügbarkeitsproblem, sondern ein Marktproblem.“

Die Frage nach dem Umgang mit den kostbaren Materialien treibt allerdings nicht nur Wissenschaftler oder Firmenchefs um, sondern immer öfter auch Politiker: „China hat den Markt monopolisiert“, sagt HIF-Direktor Jens Gutzmer – vom Bergbau bis zur Verarbeitung der Erze finden alle Schritte fast nur dort statt. Weltweit seien deshalb alle Firmen, die mit den seltenen Erdelementen arbeiten, von China abhängig. „Wir haben kein Verfügbarkeitsproblem“, urteilt Gutzmer, „sondern ein Marktproblem.“

Während es in der Geologie seit 170 Jahren eine eigene Disziplin gebe, die sich darum kümmere, neue Lagerstätten mineralischer Rohstoffe zu erkunden, gebe es bei den Metallen der seltenen Erden bisher nur sehr schlecht entwickelte wissenschaftliche Konzepte zur Erkundung. „Das ist Terra incognita“, sagt Gutzmer – und zumindest für ihn als Wissenschaftler ist die Aussicht faszinierend, dass hier noch viel zu machen ist: „Dass ich so etwas als Lagerstättenkundler nochmals erlebe“, sagt er, „damit hätte ich beim besten Willen nicht gerechnet!“

Kilian Kirchgeßner



Recycelt Franziska Lederer sucht mit ihrem Team nach Möglichkeiten, seltene Erden aus weggeworfenem Material wiederzugewinnen.
Bild: André Wirsig/HZDR

Die Interaktion mit künstlicher Intelligenz braucht gegenseitiges Verständnis

Die Arbeit mit intelligenten Maschinen ist keine Einbahnstraße, findet Samer Schaaf. Für Mensch und Maschine gilt: Ihr Verhalten muss für eine kooperative Interaktion beiderseits nachvollzogen werden können. *Ein Kommentar.*

Systeme der künstlichen Intelligenz (KI) können an dem gemessen werden, was ihr Name behauptet: zum einen daran, dass sie Intelligenz zeigen, also komplexe Problemlösungsfähigkeiten. Zum anderen daran, dass sie künstlich sind, also nach natürlichen Vorbildern vom Menschen erzeugt. Nach diesen Kriterien verdient – streng genommen – ein Großteil aktueller KI-Systeme diesen Namen nicht, denn in ihrer Forschung geht es in der Regel darum, komplizierte Probleme in der Welt möglichst automatisiert zu lösen, ohne sich dabei an menschliches Denken zu halten.

Solange wir die künstliche Intelligenz als Werkzeug verwenden und mit ihr einfach nur die Infrastruktur unserer Informationsverarbeitung erweitern, müssen wir auch nur eingeschränkt nachvollziehen können, mit welcher Methode sie Probleme löst. In aktuellen KI-Systemen, die maschinelles Lernen verwenden, wäre das häufig auch nicht möglich. Solche Systeme stellen sich selbst für ihre Programmierer als Blackbox dar: Wir wissen zwar, was hinein- und was wieder herauskommt. Wir können die Blackbox aber bei Bedarf nicht öffnen und somit nachvollziehen, was in ihrem Innern passiert.

Der Grund dafür liegt im Ansatz der verwendeten Lernalgorithmen: Der Computer wird nicht wie in der klassischen Informatik mit einzelnen kausalen Schritten zur Lösung eines Problems programmiert; stattdessen gibt sich das System selbst Regeln vor, basierend auf den in Beispieldaten vorhandenen statistischen Zusammenhängen. Diese Abgabe von Kontrolle bringt es mit sich, dass das Verhalten des Computers nur vermindert nachvollziehbar ist.

Auch ein großer Teil der menschlichen Problemlösungsfähigkeiten ist eine Blackbox des Unbewussten: Ob Routinen im Alltag, Heuristiken im Beruf oder das, was wir allgemein ein wenig hilflos als Intuition bezeichnen – die Basis unseres Handelns liegt oft im Dunkeln. Nur mit einiger Anstrengung gelingt es unserem Bewusstsein, durch logische Rückschlüsse aus unserem Verhalten kausale Zusammenhänge abzuleiten. Die Blackbox wird zur Greybox.

Je mehr unsere Interaktion mit Maschinen der Zusammenarbeit mit Menschen ähnelt, desto ausgeprägter ist das Blackbox-Problem von KI-Systemen. Denn Zusammenarbeit – auch mit intelligenten Maschinen – sollte auf gegenseitigem Verständnis basieren. Dafür muss die Maschine aufzeigen können, wie sie Probleme löst. Damit wir dadurch nicht überfordert werden, sollte die Problemlösung in unterschiedlicher Granularität dargestellt werden. In der Informatik werden dafür Probleme in hierarchische Ebenen aufgeteilt. Das erleichtert auch die Nachvollziehbarkeit.



Samer Schaaf ist wissenschaftlicher Berater für den demografischen und soziodigitalen Wandel bei der VDI/VDE Innovation+Technik GmbH und war zuvor Postdoc am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE).

Für die Gegenseitigkeit einer Mensch-KI-Interaktion muss nicht nur der Mensch das Verhalten des KI-Systems nachvollziehen können, sondern auch die Maschine dasjenige des Menschen. Beim Menschen ist es die Empathie, die ihn befähigt, sich in andere Menschen hineinzusetzen. Psychologen sprechen davon, dass Menschen dafür die psychologischen Prozesse des Gegenübers simulieren. Das gelingt umso besser, wenn dafür die eigenen Problemlösungsprozesse nachvollziehbar verwendet werden können. Das ist ein guter Grund, sich in der KI-Forschung wieder mit der algorithmischen Nachbildung menschlicher Intelligenz zu beschäftigen und damit ihrem Namen alle Ehre zu machen. Empathische KI-Systeme können Emotionen abbilden, denn auch in der Interaktion basiert rationales Verhalten auf der Funktion von Emotion: Durch das Zeigen und Erkennen von Emotionen ist eine Interaktion möglich, die sich an den Zustand des Menschen und des KI-Systems anpassen kann. Eine gute Basis für gegenseitiges Verständnis!

Wenn bei menschlicher Interaktion das Verhalten von einem der Beteiligten im Dunkeln gelassen wird – etwa seine Intention –, kann das als Zeichen einer unwilligen Zusammenarbeit verstanden werden. Wer so agiert, ist nicht an Kooperation interessiert, sondern strebt oft ein asymmetrisches Interaktions- und Machtverhältnis an. Konsequenterweise sollten wir solche einseitigen Interaktionsverhältnisse auch im Umgang mit KI-Systemen, die ihre Nachvollziehbarkeit im Dunkeln belassen, ablehnen! ◆

NACHGEFRAGT:

„WARUM
IST SCHNEE
WEIß?“



Schneeflöckchen, Weißröckchen Wasser ist in gefrorenem oder flüssigem Zustand durchsichtig. Warum aber ist Schnee weiß? Bild: Pixabay

Das Wasser, das zu Hause aus dem Hahn kommt, ist klar, und auch die Regentropfen in der Natur sind durchsichtig. Müsste Schnee – also gefrorenes Wasser – nicht auch farblos sein? Helene Hoffmann vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung arbeitet zurzeit auf der Neumayer-Station in der Antarktis und erklärt, warum Schnee für uns weiß aussieht.

„Keine Schneeflocke gleicht einer anderen. Ihnen allen ist aber gemeinsam, dass sie aus feinen, sechseckigen Eiskristallen bestehen. Diese Kristalle sind eigentlich transparent und das Licht kann ihre Struktur durchdringen. Ein kleiner Teil des Lichtes wird aber an ihrer Oberfläche zurückgeworfen. In einer Schneeflocke liegen die vielen Kristalle wild durcheinander, wie Spiegelscherben.

Wenn die Sonnenstrahlen auf eine Schneeflocke fallen, dann wird an jedem einzelnen der Kristalle ein wenig Licht reflektiert. Die Wellenlängen des Lichtes überlagern sich und die Flocke scheint weiß. Bei Eiswürfeln ist das anders. Sie sind durchsichtig, weil die einzelnen Eiskristalle

in ihnen regelmäßig angeordnet sind, ein bisschen wie Bienenwaben. Es gibt keine Verästelungen, an denen sich das Licht brechen könnte. Sollten Eiswürfel doch mal weißlich aussehen, dann liegt das an eingeschlossenen Luftblasen.

Es lassen sich noch weitere Farbphänomene beobachten: Eine Gletscherfront oder ein Eisberg kann zum Beispiel leuchtend blau erscheinen. Immer wenn das Licht einen sehr langen Weg durch Eismassen zurücklegen muss, wird der Rotanteil „geschluckt“ und der reflektierte blaue Anteil lässt die Oberfläche so intensiv farbig wirken.

Wenn sich hingegen Ruß und andere Partikel auf Schnee und Eis ablagern, dann verfärbt er sich dunkel und die Rückstrahlungsfähigkeit der Oberfläche, auch Albedo genannt, sinkt ab. Hier in der Antarktis kommen zwar Rußteilchen an, aber es gibt noch keine messbaren Folgen. Anders ist das in der Arktis oder auf Grönland: Dort erwärmt sich der Schnee durch solche Ablagerungen und schmilzt schneller.

Nachgefragt hat **Kristine August**



ONLINE

Alle Ausgaben von
Nachgefragt:

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



1

1,008

H

Wasserstoff

Saubere Sache

Wasserstoff ist ein altbekannter Energieträger. Doch erst jetzt können Forscher sein ungeheures Potenzial für das Gelingen der Energiewende richtig nutzen – und arbeiten daran, die alte Idee der Brennstoffzelle zukunftstauglich zu machen.

Die gute Nachricht zuerst: Die Energie aus Sonnen- und Windkraftwerken, die in Deutschland genutzt werden könnte, übersteigt unseren hohen Energiebedarf deutlich. Nun die schlechte: Dieser Überfluss steht nicht immer dann zur Verfügung, wenn er benötigt wird. Hinzu kommt, dass viele dünn besiedelte Regionen gut geeignet sind für ertragreiche Windkraft- oder Solaranlagen, deren Strom aber in den Ballungsräumen gebraucht wird. Gesucht ist also die Möglichkeit, umweltfreundlich produzierte Energie zu speichern – und bei Bedarf auch zu transportieren. Apropos Transport: Auf der Straße werden händeringend Alternativen zu Diesel und Benzin gesucht. Und so kommt es, dass ein Energieträger, der schon lange bekannt ist, neue Aufmerksamkeit erhält: Wasserstoff. Eine Reihe von Forschungsprojekten beschäftigt sich damit, ihn im großen Stil nutzbar zu machen.

Mittelfristig könnten Schiffe, Züge, Lastwagen und Busse diesen emissionsfreien Treibstoff mithilfe von Brennstoffzellen nutzen.

„Vor allem als Alternative zum Dieselmotor bieten sich Wasserstofftechnologien in Zukunft an“, sagt Peter Wasserscheid, Direktor am Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN). „Auf längeren Strecken oder im Dauerbetrieb, wo sich bei am Stecker aufgeladenen Elektroautos Probleme auftun, kann die von Wasserstoff betriebene Elektromobilität viel leisten.“ Gemeinsam mit zwei Kollegen hat er hierfür eine Lösung entwickelt: Wasserstoff wird chemisch an eine Trägerflüssigkeit namens Dibenzyltoluol gebunden – dadurch kann er in den gleichen Tankfahrzeugen transportiert werden wie herkömmlicher Treibstoff. „Dibenzyltoluol ist in der Industrie für seine hohe Stabilität und seine ungiftigen Eigenschaften bekannt und eignet sich hervorragend als flüssiger Wasserstoff-

träger“, erläutert Wasserscheid. Der Stoff wird aus Toluol gewonnen, das man bislang in großen Mengen als Benzinbestandteil verbrennt. Um Wasserstoff damit speichern zu können, hat das Team auch die erforderlichen Katalysatoren, Apparate und Prozesse entwickelt. An Testanlagen belegte es die Machbarkeit und brachte die Technologie zur Marktreife. „Das Prinzip ähnelt dem Füllen und Leeren einer Pfandflasche, die danach für den nächsten Speicherzyklus wieder bereitsteht“, sagt Wasserscheid: Der flüssige Wasserstoffträger wird nicht verbraucht, sondern kann mehrere Hundert Mal wiederverwendet werden. Ein großer Pluspunkt ist auch seine Praxistauglichkeit: Jede normale Tankstelle wäre in der Lage, statt Benzin oder Diesel auch Dibenzyltoluol abzugeben. Die gesamte petrochemische Infrastruktur stünde bei Bedarf zur Verfügung. „Mittelfristig könnten Schiffe, Züge, Lastwagen und Busse diesen emissionsfreien Treibstoff mithilfe von Brennstoffzellen nutzen“, sagt Wasserscheid. „Flüssige Wasserstoffträger können zudem einen wichtigen Beitrag zum globalen Handel mit erneuerbaren Energien leisten.“ Diese Aussichten brachten den Wissenschaftlern bereits eine Nominierung für den Deutschen Zukunftspreis 2018.

Wasserstoff lässt sich durch Elektrolyse erzeugen: Wasser wird in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt – die Energie, die für diese Reaktion nötig ist, wird dabei im Wasserstoff gespeichert. Bei Bedarf lässt sie sich problemlos wieder zurückgewinnen. Das ist die Funktion von Brennstoffzellen: In ihnen reagieren Wasserstoff und Sauerstoff; dabei setzen sie Strom und Wasser frei. Diese Reaktion wird auch als „kalte Verbrennung“ bezeichnet und hat neben ihrer Effizienz einen großen Vorteil: Es werden keine Schadstoffe freigesetzt. →

Einfach gezapft Der Tankvorgang mit Wasserstoff funktioniert ähnlich wie bei herkömmlichem Treibstoff mit einer Zapfpistole. Diese wird auf den Tankstutzen aufgesetzt und versiegelt automatisch luftdicht während des Auftankens.

Bild: dpa [M]





Wandlung in zwei Richtungen: BRENNSTOFFZELLE UND ELEKTROLYSE

- Bereits 1839 präsentierte der britische Physiker Sir William Grove eine „galvanische Gasbatterie“, die Strom erzeugte. Messbare Spannung und Stromfluss waren damals allerdings so gering, dass die Brennstoffzelle sich nicht gegen Erfindungen wie Elektrodynamo und Verbrennungsmotor durchsetzen konnte.
- Brennstoffzellen funktionieren ähnlich wie Batterien. Durch eine chemische Reaktion zwischen Anode und Kathode entsteht Energie. Chemische Reaktionspartner in der Brennstoffzelle sind Wasserstoff und Sauerstoff. Daraus entstehen vor allem Strom, Wasser – und Wärme, die für Heizungsanwendungen genutzt werden kann.
- Diese elektrochemische Reaktion wird auch als „kalte Verbrennung“ bezeichnet – im Unterschied zur Verbrennung, durch die Motoren oder Turbinen Energie erzeugen. Neben seiner Effizienz hat der Prozess einen weiteren Vorteil: Hierbei werden keine Schadstoffe freigesetzt.
- Hohe technische Anforderungen und damit verbundene hohe Kosten bremsten die Technologie über viele Jahrzehnte aus. Mit neuem wissenschaftlichem Know-how kann daraus nun ein **wichtiges Instrument für die Energiewende** werden.
- Auch die Umkehrung dieses Verfahrens spielt für die Energiewende eine wichtige Rolle: Unter gewöhnlichen Bedingungen gasförmig, lässt Wasserstoff sich durch **Elektrolyse** erzeugen, indem man mit Elektrizität Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Ein großer Teil der elektrischen Energie wird dabei in chemische Energie umgewandelt, die über lange Zeit gespeichert werden kann. Die im Wasserstoff gespeicherte Energie lässt sich bei Bedarf leicht zurückgewinnen.

In der derzeitigen Forschung geht es darum, Brennstoffzellen für den Alltagsbetrieb zu optimieren. Bislang wurde die Technologie wegen hoher technischer Anforderungen und hoher Kosten über viele Jahrzehnte hinweg ausgebremst. Eine vielversprechende Variante sind metallgestützte Brennstoffzellen, an denen Wissenschaftler des „Christian Doppler Labors für Grenzflächen in metallgestützten elektrochemischen Energiewandlern“ arbeiten. Das Labor bündelt das Know-how des Forschungszentrums Jülich und der TU Wien sowie von Unternehmen aus den Bereichen Antriebssystem- und Werkstoffentwicklung. „Wir testen seit 2014 metallgestützte Festelektrolyt-Brennstoffzellen“, sagt Projektleiter Martin Bram aus Jülich. „Unsere Versuchsobjekte sind im Vergleich zu bereits etablierten Keramikzellen hocheffizient, stabil und können kostengünstig hergestellt werden.“

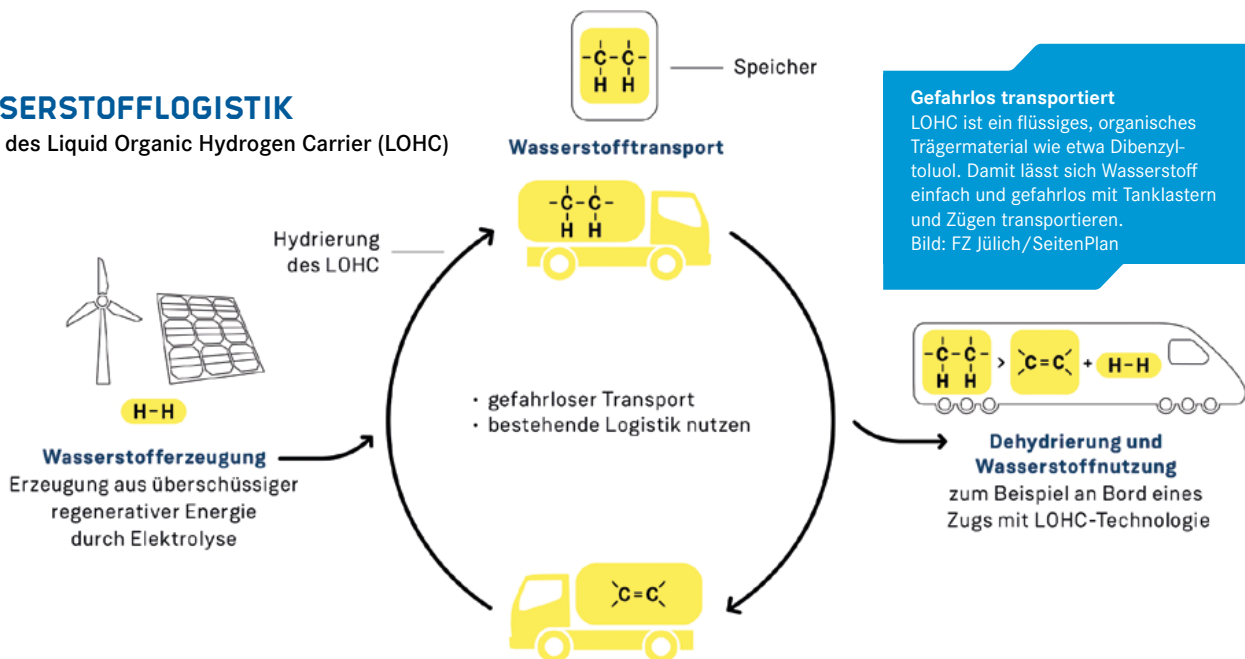
„Würde man diese Kapazitäten voll ausschöpfen, um Wasserstoff einzuspeisen, ließe sich ein beträchtlicher Input an erneuerbaren Energien im Gesamtspeicher speichern.“

Diese drei Stärken sind wichtige Voraussetzungen für den Einsatz im großen Stil. Deshalb entwickelt das achtköpfige Team Prototypen, deren Leistung und Lebensdauer Schritt für Schritt immer höher werden. Zu den Hürden zählen dabei Alterungsphänomene der Zellen im Langzeitbetrieb: Bei Betriebstemperaturen von 600 bis 800 Grad Celsius ändert sich die Struktur der Elektroden, was die elektrochemischen Prozesse unmittelbar beeinflusst. „Diese Effekte wollen wir minimieren“, erläutert Bram. Er ist sich sicher: „Wir können hier einen wichtigen Beitrag für die industrielle Umsetzung dieser Technologie leisten.“

Für das Energiesystem der Zukunft muss nicht nur möglichst effizient Wasserstoff in Strom umgewandelt werden – sondern auch umgekehrt jener Strom aus erneuerbaren Energiequellen, der momentan nicht benötigt wird, in Wasserstoff. „Um die schwankende Stromerzeugung der Erneuerbaren ausgleichen zu können, werden flexible Elektrolyseanlagen zur Herstellung von Wasserstoff immer wichtiger“, sagt Christopher Hebling, Bereichsleiter Wasserstofftechnologien am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Das bereits bestehende Erdgasnetz könne dabei als Langzeitspeicher genutzt werden. Das Fraunhofer ISE hat auf seinem Freiburger Gelände

WASSERSTOFFLOGISTIK

Prinzip des Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)



eine Anlage in Betrieb genommen, mit der Wasserstoff in das Gasnetz eingespeist werden kann. Seit August 2017 erhalten die Kunden des kommunalen Verteilnetzes bis zu zwei Prozent Wasserstoff im Erdgas. Technisch möglich wären bis zu zehn Prozent. Dahinter verbirgt sich hierzulande ein enormes Potenzial: Rund 50 Erdgasspeicher (unter Tage) kommen auf ein Fassungsvermögen von rund 23 Milliarden Kubikmetern Gas. „Würde man diese Kapazitäten voll ausschöpfen, um Wasserstoff einzuspeisen, ließe sich ein beträchtlicher Input an erneuerbaren Energien im Gesamtsystem speichern“, sagt Hebling.

Die Ökobilanz verbessern will auch Andreas Friedrich. Und zwar beim Straßenverkehr. Wegen des Trends zum Online-Shopping wächst zum Beispiel die Zahl der Paketboten deutlich, die Straßen in den Städten sind dicht, die Luft dick. „Eng wird es vor allem auf der ‚letzten Meile‘ vom Logistikzentrum zum Kunden“, sagt Friedrich, er ist Abteilungsleiter Elektrochemische Energietechnik am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Mit einem Team von DLR-Forschern entwickelt er das Lastenfahrrad zum Lieferwagen der Zukunft weiter – mithilfe eines Brennstoffzellenmoduls, das sie Fuel Cell Range Extender (FCREX) genannt haben. „Es wird für Bedingungen ausgelegt, die Leistung, Radius und Dauer von Lastenradeinsätzen in Innenstädten entsprechen“, sagt Friedrich. „Rund sieben Kilo wiegt der FCREX, die kleine Box kann am Fahrradrahmen befestigt werden.“ Für die nötige Leistung sorgen unter anderem Edelmetallkatalysatoren. In einem nächsten Schritt wollen die Forscher den Anteil des teuren Materi-

als deutlich verringern. In einer Brennstoffzelle, die ein Auto antreiben kann, werden bislang rund 20 Gramm Edelmetalle verbaut. Das Abgassystem eines Dieselmotors enthält acht bis zwölf Gramm, bei einem Otto-Motor sind es vier bis sechs. „Diese Größenordnungen wollen wir schrittweise erreichen“, sagt Friedrich. 2019 gehen die Entwicklungen in die Endphase, 2020 soll an ausgewählten Standorten der Probetrieb losgehen. Innerhalb eines Jahres sollen die Lastenräder zunächst bis zu 1.000 Kilometer zurücklegen können – und entsprechend hohe CO₂-Emissionen gegenüber herkömmlichen Lieferwagen einsparen. ◆

Lars Klaaßen



Lang unterwegs Die durchschnittliche Reichweite des Cargo-Bikes mit Brennstoffzelle liegt bei bis zu 200 Kilometern. Bild: DLR Fotomedien



ONLINE

Wie man Wasserstoff direkt aus Sonnenlicht gewinnen könnte:

→ <https://www.helmholtz.de/energie/wasserstoff-aus-sonnenlicht/>



Im Land der gefährlichen Viren

Wenn Gérard Krause auf Reisen geht, ist es meistens ein schlechter Zeitpunkt dafür: In den afrikanischen und südamerikanischen Ländern, die er besucht, wüten dann üblicherweise Ebola oder Affenpocken. Sechsmal im Jahr macht er sich trotzdem auf den Weg – er will die Ausbreitung der Krankheiten verhindern.





Eine Frau weint um ihr Kind, möchte ihm Lebewohl sagen. Doch die Ärzte halten sie zurück. Sie muss vor einer Ansteckung geschützt werden. Szenen wie diese gehen seit der verheerenden Ebola-Epidemie 2014 immer wieder um die Welt. Vor allem in den Staaten Westafrikas wütete die Krankheit von 2014 an für fast drei Jahre und kostete offiziellen Angaben zufolge mehr als 11.000 Menschen das Leben, immer wieder flammte sie auch 2018 im Kongo auf. „Gegen Ebola gab es leider noch keinen besseren Schutz als eine Kontaktsperre zu Infizierten“, sagt Gérard Krause, Professor für Epidemiologie und Abteilungsleiter des Helmholtz-Zentrums für Infektionsforschung mit Sitz in Braunschweig.

Krause bereist seit einigen Jahren immer wieder afrikanische Länder, in denen sich Epidemien wie Ebola oder die Affenpocken ausbreiten. Kenia, Ghana, Mosambik und Nigeria standen im vergangenen Jahr auf der Route des Mediziners. „Besonders oft bin ich in Nigeria unterwegs“, erklärt der Epidemiologe, „vor allem weil wir zunehmend Projekte mit nigerianischen Partnern betreiben.“ Bei seinen Reisen steht Krause aber nicht an vorderster Front im unmittelbaren Kontakt zu Patienten, sondern wirft eher aus dem Hintergrund einen Blick auf die Ausbreitung der Krankheiten. Er begutachtet, wie gut ein neues →



Geteiltes Wissen Gérard Krause schult Personal des nigerianischen Gesundheitswesens zu SORMAS.
Bild: Verena Meier



Abgeschirmt Das medizinische Personal trägt – wie hier bei der Übergabe von Blutproben bei einem Affenpockenausbruch – immer Schutzkleidung. Bild: HZI/Studio24



Gut informiert Krankenhausmitarbeiter im nigerianischen Bundesstaat Oyo zeigen Gérard Krause wie Patienten registriert werden. Bild: privat



VIDEO

Ein Video und mehr Informationen zu SORMAS gibt es hier:

→ <https://sormasorg.helmholtz-hzi.de>



Instrument funktioniert, das zur Überwachung der Epidemie dient: SORMAS heißt es (Surveillance, Outbreak Response Management and Analysis System), und Gérard Krause hat es mit einem internationalen Team in jahrelanger Arbeit entwickelt. Erstmals wurde das System 2015 in Nigeria getestet, seither kommt es immer wieder bei verschiedenen Projekten zum Einsatz.

„Ich habe das Gefühl, in afrikanischen Ländern mit den Mitteln der Epidemiologie sehr viel mehr bewirken zu können als hier in Deutschland.“

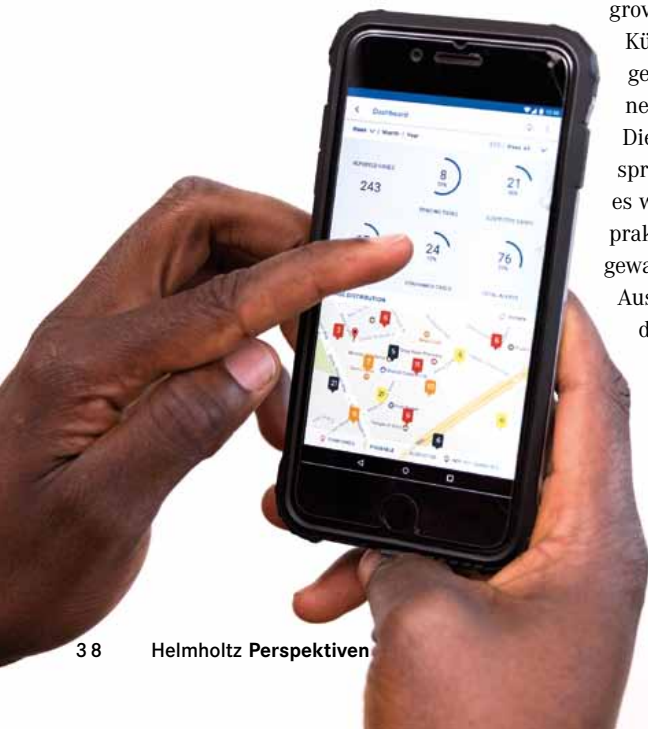
Gérard Krause weiß um die Gefahren, in die er sich auf seinen Reisen begibt: Regelmäßig erneuert das Auswärtige Amt die Reisewarnung für Nigeria. Es ist das bevölkerungsreichste Land Afrikas, geprägt durch eine außergewöhnlich große kulturelle und landschaftliche Vielfalt: ausgedehnte Mangrovenwälder in den südlichen

Küstenregionen, tropische Regenwälder in den Bergregionen und Savannen im Norden. Die 190 Millionen Bewohner sprechen über 500 Sprachen, es werden mehrere Religionen praktiziert, was nicht selten zu gewalttätigen Konflikten führt. Aus Nigerias Norden stammt die gefährliche Terroristengruppierung Boko Haram. Die Lebenserwartung der Menschen steigt stetig, liegt aber dennoch nur bei gut 54 Jahren. Noch vor Südafrika ist Nigeria

zwar die größte Volkswirtschaft des Kontinents, aber das politische System ist korrupt, die meisten Menschen leben in großer Armut.

Wenn Gérard Krause vor Ort ist, findet er das Ansteckungsrisiko recht gering; größere Gefahr gehe von politisch motivierter Gewalt, Verkehrsunfällen oder Entführungen aus, erzählt er. Während der Felduntersuchungen, wenn die Forscher von Gesundheitsposten zu Gesundheitsposten auf staubigen Buckelpisten quer durch das Land reisen, dürfen sie deswegen auch nicht selbst fahren. „Ich bin kein Risikofreund“, sagt Krause, „würde mich aber auch nicht zu den besonders ängstlichen Menschen zählen.“ Ihn motiviert es, wie er sagt, konkret zur Vermeidung von Infektionen beizutragen. „Ich habe das Gefühl, in afrikanischen Ländern mit den Mitteln der Epidemiologie sehr viel mehr bewirken zu können als hier in Deutschland.“ Dass er dazu vor Ort sein muss, beweist sich für ihn jedes Mal erneut: „Man muss sich mit den Mitarbeitern direkt auseinandersetzen, und es hilft nicht, sich nur aus der Ferne Beschreibungen anzuhören, warum bestimmte Sachen nicht wie geplant funktionieren.“

Der Anruf einer ehemaligen Kollegin brachte Krause 2014 auf die Idee von SORMAS. Als Helfer mit allen Mitteln versuchten, die Ausbreitung von Ebola einzudämmen, befand sich Gérard Krause in Deutschland. In Nigeria war die Epidemie seinerzeit schnell bekämpft, während sie in den Nachbarländern weiterhin Todesopfer forderte. Die Kollegin fürchtete einen erneuten Ausbruch in Nigeria und bat Krause um gedankliche Hilfe, wie sich der Import neuer Fälle über die Landesgrenzen verhindern lassen könnte. „Zur Kontrolle der Seuche braucht es eine effektive Koordination der Maßnahmen und Informationen über Infizierte und deren Kontaktpersonen“, erklärt Krause.





Dicht gedrängt In den Straßen von Nigerias Städten ist meist viel los.
Bild: Kaizenify/Wikipedia (CC-BY-SA-4.0)



Richtig geschult Gérard Krause erklärt Mitarbeitern des Gesundheitswesens aus Abuja den Umgang mit SORMAS. Bild: privat



sormas

Surveillance, Outbreak Response Management and Analysis System

Vor allem für Krankheiten wie Ebola zählt jeder Moment: Je nach Virustyp verläuft sie in 30 bis 90 Prozent der Fälle tödlich, es gibt keine wirksamen Medikamente und damals gab es auch noch keine Impfungen. Bei den ersten Symptomen ist die Krankheit ansteckend, die Viren stecken im Blut, in allen Körperflüssigkeiten, im Schweiß, im Speichel, Urin oder Erbrochenen. Die Inkubationszeit, die Zeit von der Infektion bis zu den ersten Symptomen, beträgt allerdings zwischen 2 und 21 Tagen. Zu identifizieren, wer sich möglicherweise angesteckt haben könnte, ist neben der Behandlung und Isolation von Infizierten eine der wichtigsten Aufgaben der Mediziner geworden. „Die App SORMAS nutzt das in Afrika weit verbreitete Mobilfunknetz, um diese Informationen schnell und unkompliziert zu teilen – und nicht, wie oft noch üblich, auf dem Papier per Post oder per SMS.“ Die Auswertung der Daten erfolgt dank des Tools nicht mehr rückblickend, sondern in Echtzeit. SORMAS wurde so entwickelt, dass es die Personengruppen unterstützt, die an den Prozessen des Ausbruchmanagements beteiligt sind. Der mit der App ausgestattete Contact Officer besucht beispielsweise jeden Tag die Kontaktpersonen von Infizierten und meldet die Ergebnisse. Die App stellt dafür täglich eine Liste bereit, die abgearbeitet werden muss – ein überaus effizientes Ausbruchmanagement, das inzwischen auch fürs Monitoring anderer gefährlicher Krankheiten wie etwa Affenpocken oder Hirnhautentzündung erweitert wurde.

„Am meisten fasziniert mich an meiner Arbeit, dass mir immer wieder Menschen begegnen, die ein unglaubliches persönliches Engagement an den Tag legen, die wirklich für die Sache brennen, jenseits beruflicher Funktion oder Verpflichtung“, sagt Krause. „Und das, obwohl die Arbeitsbedingungen nicht immer gut sind.“ Bei Temperaturen

zwischen 30 und 50 Grad ist die Arbeit in Nigeria nicht leicht – vor allem nicht für das medizinische Personal an vorderster Front. Setzt die Regenzeit ein, bilden sich plötzlich Flüsse, die den Kontakt zu Personen abschneiden, die es zu überwachen gilt. „Wir arbeiten deswegen bereits an der Idee eines Armbands, das potenziell Erkrankte angelegt bekommen“, erklärt der 53-jährige Forscher. „Wie eine Smartwatch soll das Armband bestimmte Daten wie etwa Körpertemperatur erheben und via Radiowellen an die Gesundheitsposten senden.“

„In Afrika sind meine Anstrengungen auf das Projekt fokussiert. Das hat etwas sehr Befriedigendes, weil man sich am Stück einer Sache widmen und viel erreichen kann.“

Besonders die Fähigkeit vieler Kollegen vor Ort, nicht so rasch zu verzagen, wenn etwas nicht so klappt wie geplant, sondern mit Zuversicht und Kreativität doch immer noch eine Lösung zu suchen, hat Krause zu schätzen gelernt. „Ich versuche, diese Einstellung auch bei Projekten in Deutschland an den Tag zu legen.“ Gleichwohl sei seine Arbeit in Deutschland kaum mit den Bedingungen in Afrika zu vergleichen: In Deutschland muss er sich als Abteilungsleiter innerhalb eines Tages in sehr kurzen Wechseln mit sehr unterschiedlichen Projekten befassen. „Da hat man dann selten das Gefühl, etwas erledigt oder erreicht zu haben“, bekennt er. „In Afrika sind meine Anstrengungen auf das Projekt fokussiert. Das hat etwas sehr Befriedigendes, weil man sich am Stück einer Sache widmen und viel erreichen kann.“

Isabell Spilker



ONLINE

Alle Ausgaben von JWD unter:

→ www.helmholtz.de/jwd



Die Meisterin der Enzyme

Dörte Rother hat eine Vision: Kindern eine lebenswerte Umwelt zu hinterlassen. Dafür tüftelt die Jülicher Biotechnologin an nachhaltigen Verfahren, um Medikamente herzustellen. Das Prinzip ist von der Natur abgegriffen.

Dass ihre Besucherin einige Monate später den Chemie-Nobelpreis bekommen sollte, ahnte Dörte Rother nicht, als sie in ihrem Jülicher Büro mit der US-amerikanischen Forscherkollegin Frances Hamilton Arnold plauderte. Um Enzyme ging es in dem Gespräch, das sie am Rande einer Konferenz führten, um die Doppelrolle als Wissenschaftlerin und Mutter und um ihre Karrierewege. „Als ich dann erfuhr, dass sie 2018 den Nobelpreis bekommt“, sagt Rother, „habe ich mich wahnsinnig gefreut. Sie ist in vielerlei Hinsicht eine absolut würdige Nobelpreisträgerin!“

Die Forschung der US-Kollegin hat wichtige Grundlagen für Dörte Rother's eigene Entwicklungen hervorgebracht: Auch sie arbeitet mit Enzymen. Diese biologischen Katalysatoren beschleunigen chemische Reaktionen und ermöglichen unter anderem den Aufbau von Körperzellen und die Verdauung. Rother's Arbeitsgruppe am Forschungszentrum Jülich entwirft und optimiert neue Enzyme und entwickelt Produktionsverfahren. „Wenn Leute mich nach meiner Arbeit fragen, beschreibe ich, dass ich im Bereich der Biokatalyse forsche – also Enzyme oder ganze Zellen nutze, um aus optimalerweise nachwachsenden Rohstoffen Medikamente oder deren Bausteine herzustellen.“ So kann zum Beispiel aus Abfällen aus der Verarbeitung von Mais oder Zuckerrohr ein Wirkstoff für Hustensirup werden.

Günstige Rohstoffe im Reagenzglas in hochwertige Wirkstoffe umwandeln – das klingt ein bisschen nach Alchemie. Warum es trotzdem funktioniert, erläutert die 40-jährige Forscherin so: „Die Wertschöpfung liegt darin, dass wir von einfachen Substraten ausgehen und unsere Enzyme daraus in jedem Reaktionsschritt komplexere Moleküle herstellen.“ Rother's Spezialität sind sogenannte Enzymkaskaden: Dank einer Kombination von Enzymen folgen mehrere Reaktionen aufeinander. In mehreren Schritten kann so ein komplexer Wirkstoff aufgebaut werden. Mit ihren Mitarbeitern synthetisiert Dörte Rother viele sogenannte optisch aktive Substanzen. Diese nennt man so, da sie die Polarisationsrichtung des Lichts drehen

können – wie etwa die links- oder rechtsdrehenden Milchsäuren im Joghurt. Man kann sie sich wie Bild und Spiegelbild vorstellen, und doch können sie je nach ihrer Form im Körper ganz unterschiedliche Wirkungen haben. Um als Medikamente angewendet zu werden, müssen sie hochrein vorliegen, also in nur einer der möglichen Molekülformen. „Hier hat die Biokatalyse einen großen Vorteil: Enzyme sind fast immer spezifischer als chemische Katalysatoren, die in der industriellen Herstellung von Medikamenten üblicherweise benutzt werden.“ Statt eines Stoffgemisches, das aufwendig aufgetrennt werden muss, produzieren Enzyme den Reinstoff. So werden bei der Produktion chemischer Substanzen Abfallprodukte vermieden. Zudem spart die Biokatalyse Energie, da Enzyme am besten unter natürlichen Bedingungen arbeiten. Sie brauchen weder hohe Temperaturen noch hohen Druck und sind biologisch abbaubar.

Die ökologischen Aspekte sind für Dörte Rother mehr als ein schöner Nebeneffekt. Wenn sie über ihre Forschung spricht, ist ihr die Begeisterung anzuhören. „Ich setzte mich für diese Technologie ein, weil ich von ihrer Sinnhaftigkeit absolut überzeugt bin“, betont sie. „Als Wissenschaftler haben wir die Verantwortung, nachhaltige Forschung nicht erst dann zu starten, wenn es bereits brennt.“ Für die Umwelt konnte sich Dörte Rother schon immer begeistern. „Mit drei Jahren habe ich meinen Eltern verkündet, ich wolle ‚Billologin‘ werden“, erzählt die Forscherin lachend. Inspiriert haben sie ihr Vater, von Beruf Biologie- und Erdkundelehrer, und ein Onkel, der als Meeresbiologe mit dem Forschungsschiff Polarstern in die Antarktis fuhr. Obwohl sie auch andere Fächer wie Medizin, Sportjournalismus oder Landschaftsarchitektur reizten, entschied sie sich, Biologie zu studieren. Heute bezeichnet sich die junge Professorin selbst als Biotechnologin. „Mich interessiert die technische Anwendung biologischer Aspekte“, erklärt sie. Und sie mag es, mit Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen zusammenzuarbeiten; in ihrem Team ziehen Ingenieure, Chemiker und Biologen an einem Strang. →





DÖRTE ROTHER

Leiterin des Bereichs Biokatalyse am FZ Jülich



Ruhepol Ausgleich für ihren durchgetakteten Alltag findet Dörte Rother auf Reisen, zum Beispiel an einem See in Schweden.
Bild: Dörte Rother

„Bei der Entwicklung klassischer Produktionsmethoden spielen Umweltaspekte allerdings bisher eine untergeordnete Rolle“, sagt Rother. Und weil Enzyme teurer sind als viele herkömmliche Katalysatoren, kommen sie in industriellen Herstellungsverfahren kaum zum Einsatz. Das könnte sich bald ändern: „Wenn der gesellschaftliche Druck oder die ökologische Notwendigkeit groß genug werden, beginnt auch ein Umdenken bei der Technologie“, hofft sie. „Würden nämlich die ökologischen Effekte als Kosten in den Prozess eingerechnet, dann wären viele enzymatische Prozesse schon heute wirtschaftlich konkurrenzfähig.“ Rother's Ziel ist es deshalb, biokatalytische Prozesse zusammen mit industriellen Partnern in den Produktionsmaßstab umzusetzen und Medikamente, Chemikalien oder Materialien wie Bioplastik umweltschonend herzustellen. „In diese Richtung müssen wir denken, wenn wir unseren Kindern und Enkeln ein lebenswertes Umfeld hinterlassen wollen.“ Diese Aspekte möchte Rother auch der nächsten Generation von Studierenden vermitteln, wenn sie an der RWTH Aachen lehrt. Derzeit arbeitet sie daran, Enzyme zu entwickeln, die sich durch Licht oder Temperatur an- und ausschalten lassen. „Ziel ist es, den Ablauf unserer Reaktionskaskaden mit mehreren Enzymen in einem einzigen Reaktor ganz präzise steuern zu können“, erklärt sie.

Für ihre Arbeit wurde sie mehrfach ausgezeichnet, zuletzt bekam sie etwa einen Starting Grant des Europäischen Forschungsrates und wird im Rahmen eines FET-Open-Projekts („Future and Emerging Technologies“) gefördert. Bei allen Auszeichnungen bleibt Rother bescheiden, als ihr

persönliches Verdienst sieht sie die Auszeichnungen nicht. „Wenn man seiner Arbeit mit Begeisterung nachgeht, Ideen vorantreibt und kreativ ist, kann Neues entstehen – mit etwas Glück ein gutes Verfahren oder ein Produkt, für das man einen Preis bekommt“, meint sie. Entscheidend sei das gute Arbeitsumfeld und ein Netzwerk mit Kollegen verschiedener Fachrichtungen.

Eine Zeit lang forschte Dörte Rother in Stockholm. Sie liebt die Natur Schwedens, beeindruckt hat sie aber auch das Arbeitsleben: „Kinder zu haben und weiter zu arbeiten ist in Skandinavien viel selbstverständlicher als bei uns“, schildert die dreifache Mutter ihre Erfahrung. Das liege an der guten Kinderbetreuung, kinderfreundlich gestalteten Arbeitszeiten und auch daran, wie sich skandinavische Eltern die Aufgaben in einer Familie teilten. „Hier in Deutschland sehe ich eher das Problem, den zeitlichen Anforderungen einer Professur gewachsen zu sein, wenn man zudem Kinder großzieht. Man muss schon strukturiert arbeiten können und der Lebenspartner sollte mitziehen – was bei uns glücklicherweise der Fall ist.“

Die Frage „Kind oder Karriere“ hat sie sich nie gestellt. Das mag am Vorbild ihrer Eltern liegen, die auch mit Nachwuchs beide weiter gearbeitet haben. Dass sie selbst nach Schulabschluss von einer Kinderfrau betreut wurde, empfindet Rother als Bereicherung. „So habe ich gelernt, mich auf verschiedene Charaktere einzulassen. Unsere ‚Tante Anni‘ hatte zum Beispiel einen ganz anderen Erziehungsstil als meine Eltern.“ Heute freut sie sich zu sehen, wie ihre eigenen Kinder den Umgang mit verschiedenen Bezugspersonen und Kulturen lernen. „Letztes Jahr hatten wir als Au-pair eine junge Argentinierin in der Familie. Es war toll, wie sie und die Kinder miteinander umgegangen sind, obwohl sie am Anfang gar kein Deutsch sprach.“

Ausgleich für ihren durchgetakteten Alltag findet Rother auf Reisen, beruflich oder privat. Wenn es die Zeit erlaubt, gehen sie und ihr Mann auf Radtouren. „Früher bin ich nie an einen Ort zweimal gefahren“, erzählt sie. „Jetzt haben wir an einem See in Schweden – wo sonst? – einen großartigen Ort für uns und unsere Freunde entdeckt.“ Auch der Sport, der ihr schon in der Jugend so wichtig war, ist fester Bestandteil ihrer Freizeit. „Mein sonntagmorgendliches Rudern ist mir heilig“, betont sie. „Das hilft mir übrigens auch dabei, komplexe Anträge oder Manuskripte zu erstellen – drei Runden über den See und ich habe die Struktur im Kopf.“

Ulrike Schneeweiß



ONLINE

Mehr Porträts finden Sie hier:

→ www.helmholtz.de/portraits





DAS GLASAUGE

Täglich erfassen wir unsere Umwelt mit Tausenden von Bildern. Aber wie entstehen diese Bilder und welche Rolle spielen dabei die Augen? In diesem Experiment könnt Ihr das Auge nachbauen.

DAS BRAUCHST DU:



SO WIRD'S GEMACHT:

1. Klebe als Erstes mit dem Klebeband das Papiertaschentuch außen auf eine Seite der Kugelvase.
2. Falte das Kartonpapier zur Hälfte und schneide eine halbe Figur aus (Größe circa 2–4 cm). Die Figur sollte sich in Oben und Unten eindeutig unterscheiden – wie zum Beispiel ein Hase.
3. Stelle nun die Lupe mithilfe der Knete vor das Glas auf die gegenüberliegende Seite. Mit der Knete kannst du nun auch deine ausgeschnittene Figur mit ein bisschen Abstand vor die Lupe stellen.
4. Strahl nun mit der Taschenlampe die ausgeschnittene Figur von hinten an.
5. Mit ein bisschen Übung (durch Verschieben der Lupe beziehungsweise der ausgeschnittenen Figur) erscheint auf dem Taschentuch eine scharfe umgedrehte Abbildung der Figur.

ERKLÄRUNG:

Der Lichtstrahl, der durch die ausgeschnittene Figur geht, fällt auf die Lupe. Sie stellt die Linse unseres Auges dar. Die Lupe beziehungsweise Linse bricht die Lichtstrahlen der Figur so, dass ein Abbild erzeugt wird. Dieses erscheint dann umgedreht und verkleinert auf dem Taschentuch. Es stellt die Netzhaut beziehungsweise Retina unseres Auges im Augenhintergrund dar und die Kugelvase den Augapfel. Die Netzhaut wiederum sendet entsprechende Signale über den Sehnerv zum Gehirn. Dort wird das Bild umgedreht. Der Grund: Als Säuglinge und Kleinkinder haben wir Gegenstände erfühlt. Deswegen wissen wir, wie herum sie gehören, und drehen das Bild im Kopf automatisch um.



VIDEO



ONLINE



Den Versuch gibt es auch als Video unter: www.helmholtz.de/experiment
 Mehr über die Schülerlabore unter: www.helmholtz.de/schuelerlabore

Gläsernes Labor

Die fünf Schülerlabore des Gläsernen Labors auf dem Campus Berlin-Buch bieten mehr als 20 Experimentierkurse zu den Themen Molekularbiologie, Herz-Kreislauf, Neurobiologie, Chemie, Radioaktivität sowie Ökologie für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe an. Es wurde vom Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft gegründet und feiert 2019 sein 20-jähriges Jubiläum.

Dieses Experiment stammt von:

Gläsernes Labor
 Campus Berlin-Buch GmbH
 Robert-Rössle-Str. 10, 13125 Berlin
 Tel.: +49 30-94892928
 E-Mail: info@glaesernes-labor.de
www.glaesernes-labor.de

