

FORSCHUNG
Bodenschätze
in der Tiefsee

16

DEBATTE
Was kostet
die Natur

20

REPORTAGE
Forschung auf
der Zugspitze

24

HELMHOLTZ | PERSPEKTIVEN

DAS MAGAZIN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT | NR 04 | JULI - AUG 2014

www.helmholtz.de/perspektiven

Das Rätsel unserer Intelligenz?

Was Computer von unserem Gehirn lernen können



HELMHOLTZ
| GEMEINSCHAFT

**WENN
NIEMAND
MEHR ÜBER
DEN KRIEG
IN SYRIEN
BERICHTET,
IST DANN
AUTOMATISCH
FRIEDEN?**



REPORTER OHNE GRENZEN E.V. - WWW.REPORTER-OHNE-GRENZEN.DE
SPENDENKONTO IBAN: DE26 1009 0000 5667 7770 80 - BIC: BEVODEBB

**REPORTER
OHNE GRENZEN**
FÜR INFORMATIONSFREIHEIT
[20 JAHRE]

→ HELMHOLTZ extrem

Diesmal: Das kleinlichste Messgerät

Pedanten aufmerkt – jetzt wird es bis auf das Atom präzise! Man nehme eine Gesteinsprobe von nur einem milliardstel Gramm, untersuche sie mit einem so genannten Sekundär-Ionen-Massenspektrometer, kurz SIMS, und finde unter zehn Millionen Atomen ein ganz bestimmtes. Möglich ist das am Helmholtz-Zentrum Potsdam (GFZ). Dort lenken Wissenschaftler einen fokussierten Ionenstrahl im Ultrahoch-Vakuum mikrometergenau auf eine Gesteinsprobe. Dadurch wird Material freigesetzt, zum Teil ionisiert und anschließend im Massenspektrometer analysiert. Es gibt zurzeit nur fünf Messstandorte in Europa für solche extrem genauen Analysen, und Potsdam ist bislang der einzige in Deutschland. Die SIMS-Technologie findet schon jetzt breite Anwendung: Mit ihrer Hilfe werden nicht nur seltene Rohstoffe gefunden, auch das Weltklima wird erforscht. Und die angemeldeten

Projektideen reichen thematisch vom Erdkern bis ins Weltall.

Seit 1998 betreibt das GFZ ein SIMS-Labor, in dem Wissenschaftler aus aller Welt ihre Gesteinsproben untersuchen. Mehr als 100 Projekte wurden bereits mit Partnern aus 22 Ländern bearbeitet. Mit dem neuen, seit Dezember 2013 im Einsatz befindlichen SIMS geht das jetzt nicht nur fixer, sondern auch noch präziser: Die Maschine ist etwa zwanzigmal schneller und fünfmal genauer als das Vorgängermodell. Aktuell untersuchen Gastforscher vom Alfred-Wegener-Institut am SIMS des GFZ die Sauerstoff-Isotopie an Mikrofossilien. Diese nanogrammleichten Einzeller mit einem Skelett aus Opal können dank der neuen Technik jetzt noch mehr zur Geschichte der Meere erzählen. ■

Angela Bittner

Weitere Ausgaben von
HELMHOLTZ extrem:
→ [www.helmholtz.de/
extrem](http://www.helmholtz.de/extrem)



Extrem genau Das Sekundär-Ionen-Massenspektrometer des GFZ (Mitte) kann einzelne Atome in fossilen Strahlentierchen (kleine Bilder) nachweisen.

Bilder: Elisabeth Gantz/GFZ, Nils Niebuhr/AWI



Impressum

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

Herausgeber Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren e.V.
Büro Berlin, Kommunikation und Medien
Jan-Martin Wiarda (V.i.S.d.P.)
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 · 10178 Berlin
Fon +49 30 206329-57 · Fax +49 30 206329-60

Bildnachweise Titel: Forschungszentrum Jülich; S. 4:
Kim Keibel; S. 5: Forschungszentrum Jülich, R. Scott/
GEOMAR, G. Otto/GSI, ROV-Team/GEOMAR, M. Neu-
mann/schneefernerhaus, David Ausserhofer, Bianca
Fioretti; S. 11: Forschungszentrum Jülich; S. 20-22:
Jindrich Novotny; S. 23: pavila/shutterstock; S. 28:
David Ausserhofer; S. 32: Bianca Fioretti; S. 35:
Ramona Alborn, createvil/shutterstock

Chefredakteur Andreas Fischer
Artdirektion Kathrin Schüller
Redaktionelle Mitarbeit Kristine August, Angela Bitt-
ner, Saskia Blank, Marike Frick, Bernd Hansjürgens,
Justus Hartlieb, Maimona Id, Norman Kalb, Holger
Klein, Dirk Löh, Thomas Rübke, Heike Schmoll, Felix
Spenkuch, Andreas Unger
Gestaltungskonzept Kathrin Schüller, Grafikdesign
Druck/Vertrieb mediabogen, Berlin

ISSN 2197-1579

Papier Balance Silk® (hergestellt aus 60 %
Recyclingfasern und 40 % FSC®-Zellstoffen, FSC®-
zertifiziert, verfügt über das Umweltlabel EU-Blume,
zertifiziert nach ISO 14001 Umweltmanagement)

Liebe Leserinnen und Leser,

mit seiner Rechenleistung stellt unser Gehirn selbst die schnellsten, größten und teuersten Supercomputer in den Schatten: Es kann Daten nicht nur in kürzester Zeit aufnehmen und verarbeiten, sondern sie auch verstehen, kombinieren und gezielt einsetzen. Während ein Computer Aufgaben der Reihe nach abarbeiten muss, laufen im Gehirn viele Prozesse parallel – und das mit einem fast unverschämten geringen Energieaufwand. Forscher verschiedener Disziplinen versuchen seit Jahrzehnten, hinter die Rätsel unseres Gehirns zu kommen: Mithilfe der leistungsfähigsten Rechner kartieren, modellieren und simulieren sie das komplexeste Organ des Menschen. Doch warum ist das so schwierig? Zwei führende Wissenschaftler aus der Hirnforschung und der Hirnsimulation erklären in unserer Titelgeschichte, was unser Gehirn so besonders macht.

In dieser Ausgabe widmen wir uns auch dem Bergbau – allerdings dem in der Tiefsee: Am Meeresboden lagern große Mengen seltener Metalle, die von der Industrie stark nachgefragt werden. Deutschland und andere Länder haben bereits Unterwasser-Areale besetzt und erkunden, was es dort zu holen gibt. Unklar ist allerdings, welche Auswirkungen ein industrieller Rohstoffabbau auf das marine Ökosystem hätte. Darüber haben wir mit Forschern des GEOMAR gesprochen.

Hoch hinaus dagegen geht es in einer Reportage über Deutschlands höchstgelegene Forschungsstation, das Schneefernerhaus auf der Zugspitze. Und wir haben wieder für Sie nachgefragt – diesmal, wie Materieteilchen in einem Teilchenbeschleuniger auf nahezu Lichtgeschwindigkeit gebracht werden. Wenn Sie schon immer mal wissen wollten, wie etwas funktioniert, schicken Sie uns Ihre Fragen einfach per Email an perspektiven@helmholtz.de. Auch für Anregungen und Kritik zum Heft sind wir dankbar, also schreiben Sie uns.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen!

Ihr Andreas Fischer

Chefredakteur

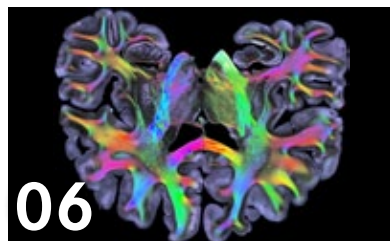


Abonnement

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

Inhalt

TITELTHEMA



06

„Das ist wie eine Blackbox“
Was können Computer vom Gehirn lernen? Ein Hirnforscher und ein Computerexperte im Gespräch

+++ TELEGRAMM +++



12

Forscher zeichnen die Wege von Babyschildkröten nach +++ Pflanzenwirkstoff schützt bei Chemotherapie +++ Kerosin aus Sonnenlicht, Wasser und CO₂ +++ Mit Wechselstrom auf die Suche nach Erdöl +++ und weitere Meldungen +++ Termine

34

Personalien

FORSCHUNG

03

Helmholtz extrem
Diesmal: Das kleinlichste Messgerät



15

Nachgefragt!
Diesmal: Wie beschleunigt man ein Teilchen auf 300.000 km pro Sekunde?

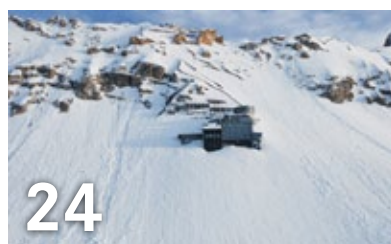


16

Bergbau in der Tiefsee
Wie aufwendig wäre der Abbau von Rohstoffen am Meeresboden und welche Folgen hätte er?

23

Spieglein, Spieglein an der Wand ...
Eine Geschichte aus dem Journal für ungelöste Fragen



24

Ganz oben
Eine Reportage über den höchstgelegenen Arbeitsort Deutschlands

FORSCHUNGSPOLITIK



28

Das sind große Kuchenstücke der Forschungsförderung
Gespräch mit dem Vorsitzenden des Wissenschaftsrats Manfred Prenzel

STANDPUNKTE

20

Lässt sich der Wert der Natur in Euro messen?

Zwei Blickwinkel: Bernd Hansjürgens und Dirk Lühr

22

Schluss mit der zertifizierten Inkompetenz!

Ein Kommentar von Heike Schmoll über die Inflation sehr guter Zensuren

PORTRÄT



32

Die Frau mit der Gen-Schere
Emmanuelle Charpentier im Porträt

KLEINE FORSCHER

35

Die Brausetabletten-Rakete



Wolf Singer Der emeritierte Professor für Physiologie leitete die Abteilung für Neurophysiologie am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt am Main und ist Gründungsdirektor mehrerer Forschungseinrichtungen. Bilder: Bernd Weisbrod

„Das ist wie eine Blackbox“

Ingenieure und Informatiker schauen voller Neid auf das menschliche Gehirn: Es kann zwar nicht so gut rechnen wie ein Computer, dafür aber Zusammenhänge verstehen – und das mit extrem wenig Energieaufwand. Wie es das schafft, ist immer noch ein Rätsel. Was können Computer vom Gehirn lernen? Ein Gespräch mit dem Hirnforscher Wolf Singer und dem Computerexperten Thomas Lippert



Thomas Lippert Der Professor für Computergestützte Theoretische Physik ist Chef des Jülich Supercomputing Centre am Forschungszentrum Jülich, einem Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft.

Gehirn und Computer haben vor allem eines gemeinsam: Beide verarbeiten Informationen. Aber warum kann ein Gehirn einen Computer bauen, der Computer aber kein Gehirn nachahmen?

Singer Die enormen Leistungen des Gehirns per Computer zu simulieren ist schwierig; zum Großteil ist immer noch unklar, wie sie überhaupt zustande kommen. Immerhin sind wir soweit, dass wir einzelne Funktionselemente nachahmen können, zum Beispiel bestimmte Zelltypen. Mit geeigneter Software lässt sich die Wirkungsweise solcher Bausteine des Gehirns darstellen und weiter erkunden.

Lippert Gehirn und Computer unterscheiden sich eben doch in vielem. Spannend ist die Frage: Was kann das Gehirn

besser als ein Computer? Beispielsweise kann ein Computer Zahlen besser addieren – aber das Gehirn kann die Zahlen verstehen.

Singer Gehirne erkennen Muster. Da tut sich jedes Computersystem immer noch schwer.

Lippert Extrem schwer. Wenn wir etwas erkennen, gibt es im Hirn eine ganze Abfolge von Ereignissen. Wenn es gelänge, alle diese Prozesse zu verstehen, dann wäre das ein unglaublicher Erfolg. Immerhin können wir schon Neurone, also Nervenzellen, mit unseren Rechnern relativ gut nachbauen. Und zwar nicht nur ein paar, sondern eine Milliarde – und in fünf Jahren vielleicht 100 Milliarden. Wenn wir diese Neuron-Imitationen mit all ihren Verschaltungen, den Synapsen,

abbilden können, dann könnte man im nächsten Schritt versuchen abzubilden, wie sie interagieren.

Singer Das Ganze braucht aber sehr, sehr viel Strom.

Wie viel Strom denn?

Lippert Unser großer Rechner in Jülich braucht fast zwei Megawatt, etwa so viel, wie 6.000 Haushalte. Und es gibt andere, die noch mehr benötigen. Das ist mit Silizium – daraus bestehen unsere Computer im Wesentlichen – heutzutage nicht anders machbar.

Und wie viel Energie braucht das Gehirn?

Singer Etwa 30 Watt, so viel wie eine Glühbirne. ►

Wie genau speichert das Gehirn denn nun Informationen?

Singer Seit etwa einer Dekade weiß man, dass die fest miteinander verbundenen Neuronen immer wieder neue funktionelle Netzwerke bilden, indem sie mal mit dem einen Nachbarn sprechen und mal mit dem anderen – je nachdem, auf welchen Reiz das Gehirn gerade reagiert. Die Verbindungen zwischen den Nervenzellen arbeiten also mal mehr, mal weniger, abhängig davon, welche Netzwerke gerade gebraucht werden. In diesen neuronalen Netzen überlagern sich Erinnerungsspuren, die nach assoziativen Regeln abrufbar sind – egal, ob es sich um ein Ereignis aus der frühen Kindheit oder von gestern Abend handelt. Computer müssen gespeicherte Inhalte dagegen der Reihe nach suchen. Prozesse im Gehirn laufen hoch parallel ab und weisen eine extrem komplexe Dynamik auf. Diese zu verstehen macht immer noch große Probleme. Zum Teil fehlt sogar die Mathematik dafür. Das Gehirn erzeugt hochdimensionale Zustände und führt in diesen seine Rechenoperationen aus. Da hat die Evolution eine Verarbeitungsstrategie verwirklicht, die wir noch nicht verstehen. Sobald wir mehr wissen, könnten wir beginnen, die Funktionsprinzipien der Großhirnrinde zu simulieren.

Angenommen, Sie hätten genügend Speicher, um ein Gehirn zu simulieren – würde der Rechner genauso schnell arbeiten können wie das Gehirn?

Lippert In naher Zukunft wahrscheinlich nicht. Die Arbeitsgeschwindigkeit des Gehirns lässt sich nicht mit den elektronischen Rechengeschwindigkeiten erreichen, die wir in den nächsten Jahren zur Verfügung haben werden.

Singer Ein großes Problem wird sein, diese komplexen Systeme stabil zu bekommen. Im Gehirn wimmelt es von positiven Rückkopplungsschleifen: A spricht erregend mit B und B wieder erregend mit A. Dadurch entsteht eine Dynamik, die Sie analytisch nicht beschreiben und damit auch nicht ingenieurmäßig beherrschen können. Die Natur hat offenbar einen riesigen Aufwand betrieben, diese Rückkopplungsschleifen mit einer Hierarchie von Überwachungssystemen zu dämpfen: Sie sorgen dafür, dass das System einerseits nicht ständig überreagiert und andererseits nicht ständig unter die kritische Erregungsschwelle fällt, wo es dann komatös wird. Diese Stabilitätsprobleme zu lösen ist eine ingenieurtechnische Herausforderung, die sich vermutlich nur über Selbstorganisationsprinzipien lösen lässt.

Lippert Für die Dynamik der Neurone versucht man, einfache Regeln zu finden. Diese Regeln müssen auf riesige Datenmengen angewandt werden, die fast 100 Milliarden Neurone und jeweils bis zu 10.000 Synapsen repräsentieren. In der Simulation erfolgt die wiederholte Anwendung dieser Regeln auf die ganze Struktur, was bestimmt, wie die Neuronen miteinander wechselwirken, wie sich neue Verbindungen bilden und so weiter. Das erfordert, Rechnungen von großer logischer Tiefe durchzuführen, und im Fall des Gehirns braucht das gigantische Rechenleistungen. Der Prozess wird zu sehr komplexen Phänomenen führen, die aber einfachen Regeln folgen.

Singer Und die Dynamik bekommt man nicht mitgeliefert. Dahinter steckt eine ganz lange evolutionäre Geschichte. Selbst wenn Sie das Gehirn auseinandernehmen und die vollständige Verschaltung aller Neuronen hätten, würde Ihnen das noch nicht sagen, zu welcher Dynamik die Wechselwirkungen führen.

Lippert Wie es wirklich funktioniert, können wir nicht mal bei einem simplen Nervenzellnetz sagen. Das ist wie eine Blackbox. Da gibt es Überlagerungszustände, die aussehen, als hätten wir es mit Quantenmechanik zu tun. Aber das ist natürlich nicht das gleiche.

Singer Stimmt, das ist ein anderes Prinzip. Die Evolution hat sich da etwas Ungewöhnliches einfallen lassen.

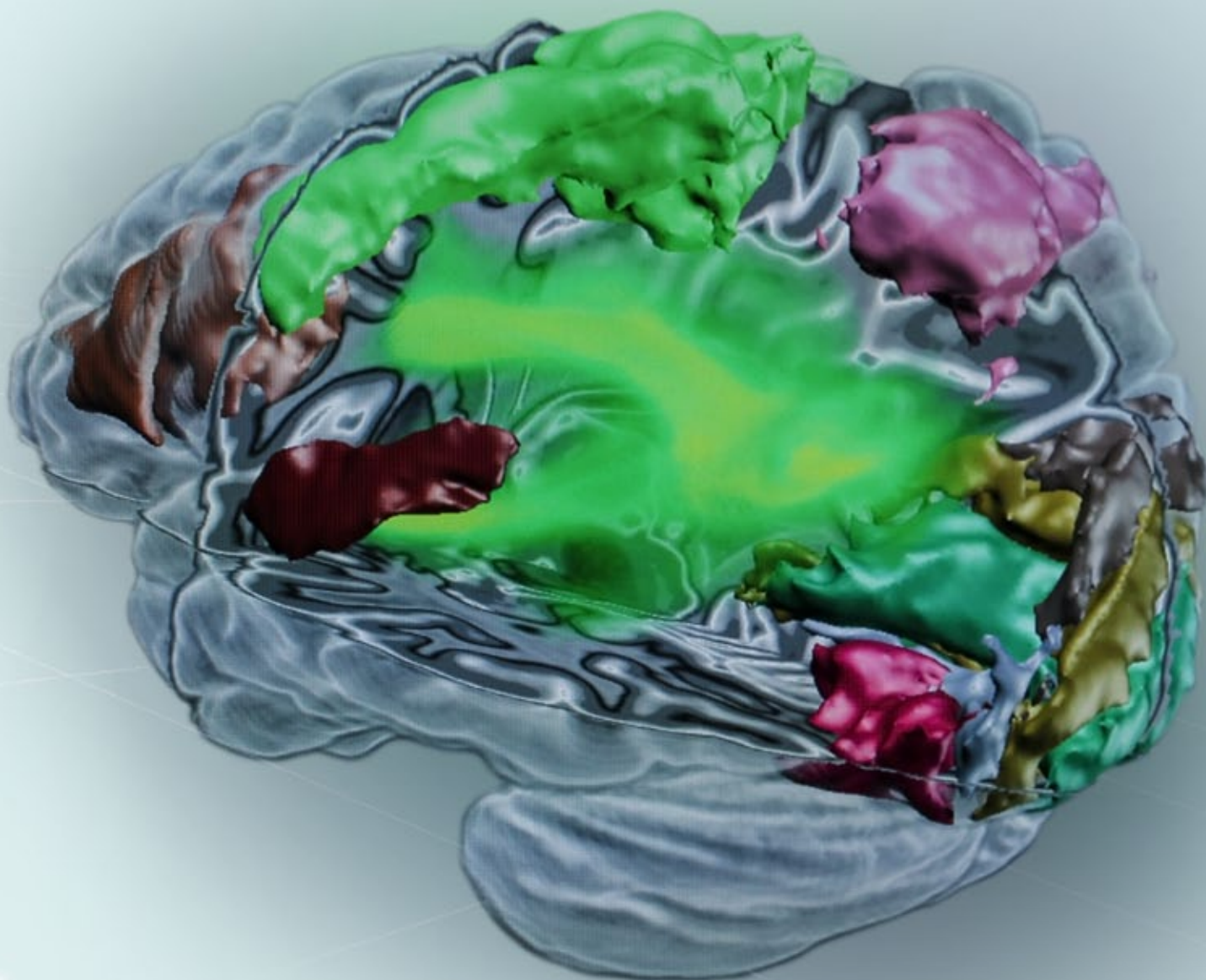
Lippert Und dieses Prinzip haben wir noch nicht verstanden. Schneiden Sie mal einen Intel-Prozessorchip durch und schauen Sie sich die Struktur an, was Sie dann an Erkenntnis erlangen.

Singer Sehr wenig.

Lippert Null. Das System ist zu komplex, als dass wir auf einfache Weise entwirren könnten, was darin passiert. ▶



Dem Gehirn klar unterlegen Jülichs Superrechner JUQUEEN ist noch viel zu klein, um das Gehirn zu simulieren. Bild: Ralf-Uwe Limbach, Forschungszentrum Jülich



VIRTUELLES GEHIRN

Das „Virtual Brain“ zeigt die Lage der Hirnareale, die farblich unterschiedlich markiert sind, mitsamt ihren Verbindungen, den Faserbahnen (grün). Anhand dieser interaktiven 3D-Visualisierung können sich die Wissenschaftler die Strukturen von allen Seiten aus betrachten. Das „Virtual Brain“ haben Jülicher Neurowissenschaftler um Katrin Amunts in Kooperation mit der Virtual Reality Group der RWTH Aachen um Torsten Kühlen erstellt.

Bild: Forschungszentrum Jülich



Blick ins Gehirn Katrin Amunts und ein Mitarbeiter betrachten einzelne Hirnareale des „Virtual Brain“. Bild: Forschungszentrum Jülich

Reicht es denn eigentlich, sich ausschließlich das Gehirn anzusehen, um es hinterher simulieren zu können?

Lippert Ein Gehirn ohne einen Körper ist ein relativ nutzloses Teil. Es braucht Input und Output, etwa über unsere Sinnesorgane.

Durch die Presse geistert immer mal wieder die Idee eines Superrechners, der alle Ergebnisse schon vorrätig hat, bevor wir eines davon wissen wollen. Könnte so ein Quantencomputer beim Nachbau des Gehirns helfen?

Lippert Ich glaube aus physikalisch-technischen Gründen nicht, dass es jemals einen funktionsfähigen physikalischen Quantencomputer geben wird, obwohl es das idealisierte Konzept eines Quantencomputers und entsprechende Algorithmen selbstverständlich gibt. Natürlich gibt es Quantenprozesse im

Gehirn, aber ob die eine Rolle in der Frage des Speicherns und Transportes von Informationen spielen, weiß ich nicht.

Singer In meiner Community werden diejenigen belächelt, die sagen, in einem Gehirn gehe es zu wie in einem Quantencomputer. Die werden als Esoteriker nicht ernst genommen. Das Gehirn ist zu warm, zu groß und zu feucht, da kann man nicht von „Wellenfunktionen“ und „Kollaps von Wellenfunktionen“ sprechen. Aber ich glaube, dass die Evolution mit der Großhirnrinde eine Verarbeitungsstrategie erfunden hat, die auf einer analogen Ebene verwirklicht, was Quantencomputer könnten: sehr viele Zustände bereithalten, die dann sehr schnell abgerufen werden können. Und das mit nur 30 Watt.

Wenn wir nun verstünden, wie das Gehirn funktioniert ...

Singer ... dann würden wir auch verstehen, warum es manchmal nicht funktioniert, und das ist momentan nicht der Fall. Deshalb gibt es keine kausale Therapie für Depression, für Schizophrenie oder Autismus.

Lippert Solches Wissen könnten wir auch nutzen, um neue informationsverarbeitende Prozesse mit unseren Rechnern zu kombinieren. So ein System muss kein Bewusstsein haben, sondern nur in der Lage sein, Muster mit hoher Auflösung zu erkennen. Das wäre eine völlig neue Art von Informationsverarbeitung.

Glauben Sie, wir werden das irgendwann noch erleben?

Singer Ja, Sie vielleicht.

Lippert Sie sind ja noch jung. —

Interview: **Holger Klein**

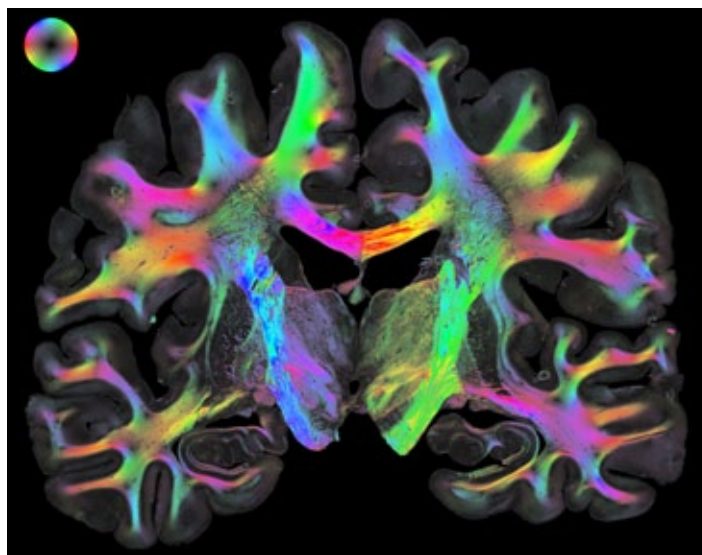
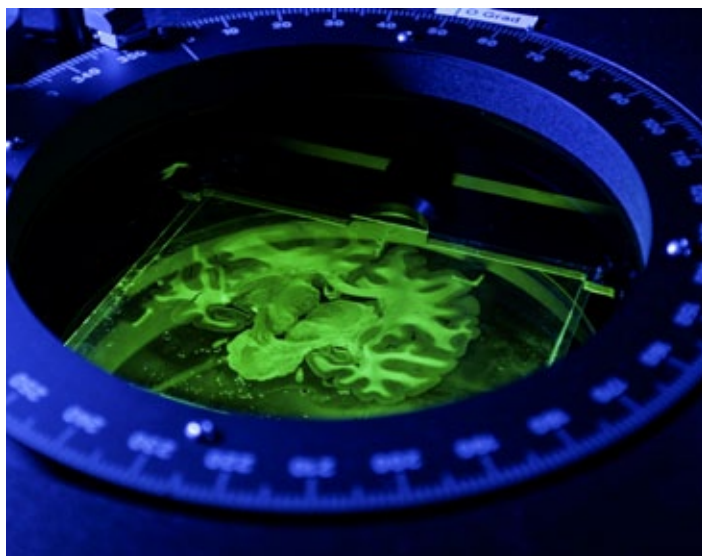
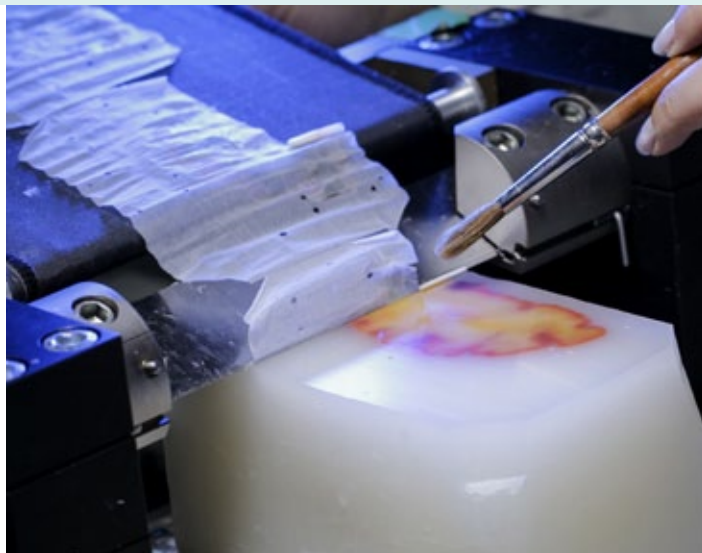
Auf der Suche nach der Gehirnformel

Um Erkrankungen des Gehirns, wie Demenz, Depression, Parkinson, oder auch die Mechanismen von Sucht besser verstehen zu können, muss das Gehirn in seinem Aufbau und seiner Funktionsweise besser erforscht sein.

Ein großer Schritt in diese Richtung ist den Forschern am Forschungszentrum Jülich gelungen. Von einem der Forschung gespendeten Gehirn machten sie 7.400 Gewebeschnitte (*Foto oben*) und errechneten daraus mithilfe von Supercomputern ein dreidimensionales Gehirnmodell. Insgesamt fünf Jahre Arbeitszeit sind in dieses „BigBrain“ geflossen. Die Schnitte sind 20 Mikrometer dünn. Das entspricht ungefähr der Größe einer Nervenzelle, oder auch der halben Dicke eines menschlichen Haares. Fehlerhafte Präparate wurden im Computer aufwendig repariert. Allein dieser automatisierte Teil erforderte 260.000 Computerstunden. BigBrain steht allen Forschern kostenlos zur Verfügung und gibt ihnen zum ersten Mal die Möglichkeit, bis auf die Ebene der einzelnen Nervenzellen in ein Gehirn zu zoomen und feinste Unterschiede zwischen den Hirnregionen zu studieren. Das macht es möglich, Veränderungen an erkrankten Gehirnen besser zu erkennen und zu bewerten. Die Jülicher Technologie wurde kürzlich vom MIT Technology Review als eine der zehn einflussreichsten Technologien 2014 gekürt, die Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich, Katrin Amunts, als „key player“ ausgewählt.

Die Erkenntnisse aus BigBrain fließen außerdem in das internationale „Human Brain Project“. Hier versuchen Neuro- und Informationswissenschaftler aus 23 Ländern, innerhalb von zehn Jahren das menschliche Gehirn – einschließlich der Interaktion ganzer Hirnregionen – auf einem Supercomputer zu simulieren. Eine zentrale Bedeutung kommt dabei den Verbindungen zwischen Hirnarealen zu. Um diese sichtbar zu machen, durchleuchten die Forscher Gewebeschnitte mit polarisiertem Licht (*Foto Mitte*). Das Verfahren, das „3D-PLI“ (Polarized Light Imaging) genannt wird, zeigt mikroskopisch genau Nervenfaserbahnen und erlaubt es, ihren Verlauf durch das Gehirn zu analysieren. Entsprechend ihrer Raumrichtung lassen sich die Fasern in verschiedenen Farben anzeigen (*Foto unten*). —

Holger Klein



Bildergalerie
zur Gehirnkartierung:
→ [www.helmholtz.de/
bigbrain](http://www.helmholtz.de/bigbrain)



Unterwegs zum Stammlokal Meeresschildkröten schwimmen bis zu 3.000 Kilometer zwischen Brut- und Nahrungsplatz hin und her. Bild: R. Scott/GEOMAR

Telegramm

Forschung +++ Forschungspolitik +++ Termine

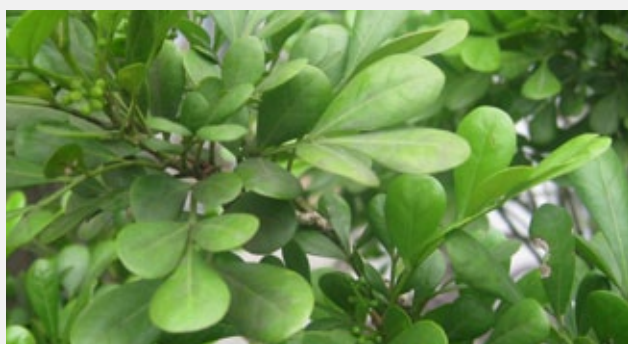
Forscher zeichnen die Wege von Babyschildkröten nach

Frisch geschlüpft, machen sich junge Meeresschildkröten sofort auf den Weg ins sichere Wasser. Um ihren Hunger zu stillen, bleiben einige Populationen ihr Leben lang ganz in der Nähe ihres Geburtsortes. Andere Schildkröten lassen sich in bis zu 3.000 Kilometern Entfernung nieder und kehren nur zur Eiablage zeitweise an den Geburtsort zurück. Bisher war unklar, wonach die Tiere ihre Nahrungsgründe aussuchen. Nun haben Wissenschaftler des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel gemeinsam mit britischen und australischen Kollegen herausgefunden, dass Meeresschildkröten meist dorthin zurückkehren, wohin sie die Strömung als Jungtiere getragen hat.

Grundlage der aktuellen Studie ist das durch Satellitenüberwachung gut erforschte Wanderungsverhalten erwachsener Meeresschildkröten. Außerdem bezogen die Wissenschaftler Daten zu den Oberflächenströmungen der Meere mit ein. Die Wege der Babyschildkröten simulierten sie am Computer: „Da frisch geschlüpfte Tiere noch nicht über ausreichend Kraft verfügen, um gegen die Strömungen anzuschwimmen, konnten wir sie im Modell als treibende Körper simulieren“, sagt GEOMAR-Forscherin Rebecca Scott. Die Satellitendaten über die erwachsenen Tiere verglichen Scott und ihre Kollegen mit den modellierten Driftrouten der Jungtiere. So stießen sie auf den Zusammenhang zwischen Wanderung und vorherrschender Strömung. Dabei scheint es ein Entfernungslimit zu geben: Liegen Brutplatz und Nahrungsgrund mehr als 3.000 Kilometer auseinander, würden die Tiere den Hin- und Rückweg nicht schaffen.

Pflanzenwirkstoff schützt bei Chemotherapie

Wissenschaftler vom Deutschen Krebsforschungszentrum haben einen pflanzlichen Wirkstoff entdeckt, der gesunde Körperzellen davor bewahrt, bei einer Chemotherapie absterben. Chemotherapeutika verursachen Schäden in der DNA, die die Produktion des Proteins p53 ankurbeln, das dann wiederum den programmierten Zelltod einleitet. Pflanzen der Gattung *Aglaia* enthalten die schon in der traditionellen chinesischen Medizin bekannte Substanz Rocaglamid, die die p53-Bildung blockiert und so das Absterben der Zellen verhindert. Weil p53 bei der Hälfte aller Krebsarten in den Tumorzellen fehlt oder defekt ist, schützt Rocaglamid in diesen Fällen nur die gesunden Zellen, während die Tumorzellen der Chemotherapie ausgeliefert sind.



Rettendes Protein Pflanzen der Gattung *Aglaia* produzieren eine Substanz, die gesunde Zellen am Leben erhält. Bild: Nguyễn Thanh Quang

Kerosin aus Sonnenlicht, Wasser und CO₂

Forschern vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt ist es gemeinsam mit internationalen Kollegen gelungen, Flugzeugtreibstoff aus Sonnenlicht, Wasser und Kohlenstoffdioxid herzustellen. Ziel der Wissenschaftler im Projekt SOLAR-JET ist es, den herkömmlichen Verbrennungsprozess umzukehren und aus schon bestehenden Ressourcen alternativen Treibstoff zu produzieren. Nachdem sie nun im Labor die technische Machbarkeit nachweisen konnten, geht es im nächsten Schritt darum, das Verfahren für industrielle Maßstäbe zu optimieren.



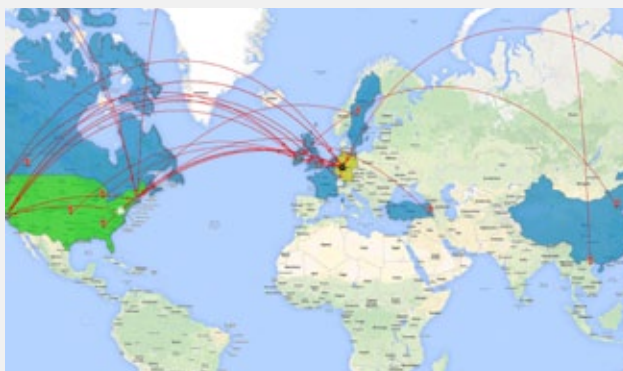
Dreht Verbrennung um Dieser Solarreaktor könnte die Luftfahrt sauberer machen. Bild: ETH Zürich

Mit Wechselstrom auf die Suche nach Erdöl

Oft bleibt bei der Erdölförderung mehr als die Hälfte des Rohstoffes im Speichergestein zurück. Forscher vom Helmholtz-Zentrum Potsdam (GFZ) wollen gemeinsam mit dem Unternehmen Wintershall testweise den Restölgehalt der Erdöllagerstätte Bockstedt ermitteln, indem sie kurzzeitig Wechselstrom in den Boden leiten. Mithilfe elektromagnetischer Messungen bestimmen sie die elektrische Leitfähigkeit des Untergrunds und versuchen so, auf den Erdölgehalt zu schließen. Gelingt dies, könnte die Methode in Zukunft dazu dienen, die Wirksamkeit von unterschiedlichen Fördertechniken zu bewerten.

Wohin fließen unsere Daten?

Sechs Informatikstudenten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben – zunächst als Prototyp – eine Software entwickelt, die Internetseiten auf so genannte Tracker durchsucht und den Datenfluss sichtbar macht. Als Tracker bezeichnet man Dienste, die das Verhalten der Internetbesucher auswerten und beispielsweise aufzeichnen, woher der Besucher kommt und was er sich wie lange auf einer Website angeschaut hat. Anhand dieser Daten können Drittanbieter gezielt ihre Werbung platzieren. Die Software „BackTrack“ macht die Datenverfolger nun erkennbar und zeigt, in welche Länder die gesammelten Informationen über den Internetnutzer fließen.

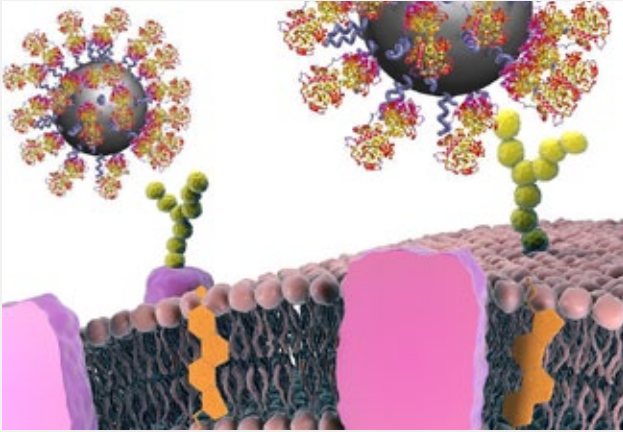


Datenfluss sichtbar gemacht Diese Wege nehmen Daten, die Dienstleistern verraten, wie wir uns im Internet verhalten. Bild: KIT/ITM-DSN

Kamel-Antikörper markieren Krebszellen

Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf haben zusammen mit internationalen Kollegen Nanopartikel entwickelt, die sich an Krebszellen heften und helfen könnten, Tumore zu diagnostizieren. Eine Herausforderung war es, zu verhindern, dass das Immunsystem die winzigen Fremdpartikel beseitigt. Dazu versahen die Forscher die Nanopartikel mit einer speziellen Oberfläche, die der menschliche Körper nicht als fremd erkennt, und kombinierten sie mit Fragmenten

von Kamel-Antikörpern. Diese Antikörperteile erkennen ein bestimmtes Protein, das bei vielen Krebsarten in unnatürlicher Form vorliegt. Bei Versuchen mit menschlichem Blutserum konnten die Forscher bereits zeigen, dass die neuen Nanopartikel verstärkt Krebszellen markieren, die dieses fehlerhafte Protein enthalten.



Krebsspürnasen Mit Kamel-Antikörpern gespickte Nanopartikel (grau) erkennen Oberflächenproteine (grün) von Krebszellen. Bild: CBNI, UCD

Neuer Präsident bei Science Europe

Helmholtz-Büro Brüssel: Miguel Seabra ist zum neuen Präsidenten von Science Europe gewählt worden, einer Vereinigung wichtiger europäischer Forschungs- und Förderorganisationen. Ab 1. September wird er den Posten des derzeit amtierenden Paul Boyle übernehmen. Der Biochemiker und Molekularbiologe Seabra ist momentan Präsident der portugiesischen „Foundation for Science and Technology“ (FCT).

Nicht-EU-Staaten können von Horizon 2020 profitieren

Helmholtz-Büro Brüssel: Partner aus Island und Norwegen können sich nun offiziell an Projekten im neuen EU-Programm für Forschung und Innovation, „Horizon 2020“, beteiligen. Auch mit Israel und der Türkei treten Mitte Juli Assoziierungsabkommen in Kraft. Weitere Staaten, die sich an Horizon 2020 beteiligen können, sollen Albanien, Bosnien und Herzegowina, die Färöer, Mazedonien, Moldawien, Montenegro und Serbien sein. Alle Beteiligungsmöglichkeiten gelten rückwirkend zum Start von Horizon 2020 im Januar 2014. Im Gegensatz zu bisherigen Programmen wird Liechtenstein diesmal nicht assoziiert sein. Auch Partner aus der Schweiz können sich derzeit an Projekten beteiligen, jedoch ohne EU-Fördergelder zu erhalten – dies als eine Folge des Abstimmungsergebnisses der Schweizer Initiative „Gegen Masseneinwanderung“.

Russland will zum Mond und zum Mars

Helmholtz-Büro Moskau: Das Institut für Biomedizinische Probleme der Russischen Akademie der Wissenschaften (IBMP) hat die Einrichtung eines internationalen Zentrums für die medizinisch-biologische Versorgung auf interplanetaren Expeditionen initiiert. Auch die Föderalen Agenturen für Raumfahrt (ROSKOSMOS) und für Wissenschaftsorganisationen (FANO) unterstützen die Initiative. Die russische Regierung hat erklärt, dass interplanetare Expeditionen – zuerst zum Mond, dann zum Mars – zu Russlands Prioritäten in der Raumfahrt gehörten. Die Aktiengesellschaft RSC Energia hat bereits damit begonnen, ein Raumschiff für bemannte Mondmissionen zu entwickeln. Das Projekt sei auch für die Beteiligung internationaler Partner offen.

China gründet Zentrum für Technologietransfer

Helmholtz-Büro Peking: Am 14. Juli wird in der chinesischen Provinz Jiangsu, Partnerprovinz der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg, das Jiangyin Sino-Germany Technology Transfer Center eröffnet. Das Zentrum soll als Plattform für Ausbildung, Informationsaustausch und Technologietransfer im Bereich erneuerbarer Energien, intelligenter Stromnetze und Umwelttechnologie dienen. Geschäftsführer wird Yuelong Huang, der in Deutschland promovierte und von 2005 bis 2008 am Institut für Photovoltaik des Forschungszentrums Jülich gearbeitet hat. Das Helmholtz-Zentrum ist auch an der Gründung der neuen Einrichtung in China beteiligt. ■

Saskia Blank

Termine

14.07.2014

Ideen 2020 – Ein Rundgang durch die Welt von morgen

Eröffnung der Wanderausstellung im Blechen Carré, Cottbus

→ www.ideen2020.de

Nächste Stationen: 08.08.2014 Bielefeld, 30.08.2014 Magdeburg

24.07.2014

REVOLUTION – Die Wissensshow zur Digitalen Gesellschaft

18 Uhr, Theaterschiff „Maria Helena“, Saarbrücken

→ www.wissensshow.net

Nächste Shows: 12.08.2014 Bielefeld, 04.09.2014 Magdeburg



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

Teilchenautobahnen Der Linearbeschleuniger UNILAC (links) und das Schwerionensynchrotron SIS (rechts). Bilder: G. Otto / GSI; A. Zschau / GSI

Nachgefragt!

Diesmal: Wie beschleunigt man ein Teilchen auf 300.000 km pro Sekunde?

Um die kleinsten Strukturen von Materie zu untersuchen, beschießen Forscher sie mit extrem schnellen Teilchen. Am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung werden dafür elektrisch geladene Atome genutzt, die eine besonders große Masse haben – und die dem Institut seinen Namen geben: Schwerionen. Diese Teilchen müssen fast auf Lichtgeschwindigkeit gebracht werden. Physikprofessor Oliver Kester erklärt, wie das geht:

„Die Schwerionen kommen erst auf eine gerade Beschleunigungsstrecke, in einen so genannten Linearbeschleuniger. Der ist bei uns etwa 120 Meter lang und bringt die Teilchen mithilfe elektromagnetischer Wellen auf 15 bis 20 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Mit diesem Tempo kommen sie dann in den Kreisbeschleuniger. Auf einer Geraden bräuchte man über Kilometer hinweg mehrere Beschleunigungsstrecken. Die 216 Meter lange Ringstrecke hat den Vorteil, dass wir die Teilchen Runde für Runde nur an einer Stelle beschleunigen müssen. Ein so genannter Hochfrequenz-Resonator erzeugt dort ein elektrisches Feld – immer dann,

wenn die Teilchen hindurchfliegen – und überträgt so mehr Energie auf sie. Da im Beschleuniger ein Vakuum herrscht, stört nichts ihren Flug, sie werden immer schneller. Die große Herausforderung ist es, die Teilchen auf der Kreisbahn zu halten. Dazu nutzen wir starke Magnetfelder, die die Schwerionen auf die Bahn zwingen und sie im Paket bündeln. Beispielsweise rauschen so bis zu 33 Milliarden Uran-Ionen gemeinsam durch den Ring, wie ein langer dünner Faden sehen sie aus. Wenn wir sie nicht mit Magnetfeldern zusammenhielten, würden sie gegen die Wand prallen und verloren gehen. Bis zu einer Million Mal muss der Teilchenfaden am Resonator vorbei – dann sind 98 Prozent der Lichtgeschwindigkeit erreicht. Das Ganze dauert nur eine Sekunde. Da die Ionen bei jeder Umrundung schneller werden, müssen wir die Magnetfelder, die sie auf der Bahn halten, immer wieder neu anpassen. Das geschieht synchron, also zeitlich exakt passend zur Beschleunigung der Teilchen. Daher heißt ein Kreisbeschleuniger auch Synchrotron.“

Nachgefragt hat **Kristine August**



Video
eines Schwarzen
Rauchers:
→ [www.helmholtz.de/
schwarzeraucher](http://www.helmholtz.de/schwarzeraucher)

Bergbau in der Tiefsee

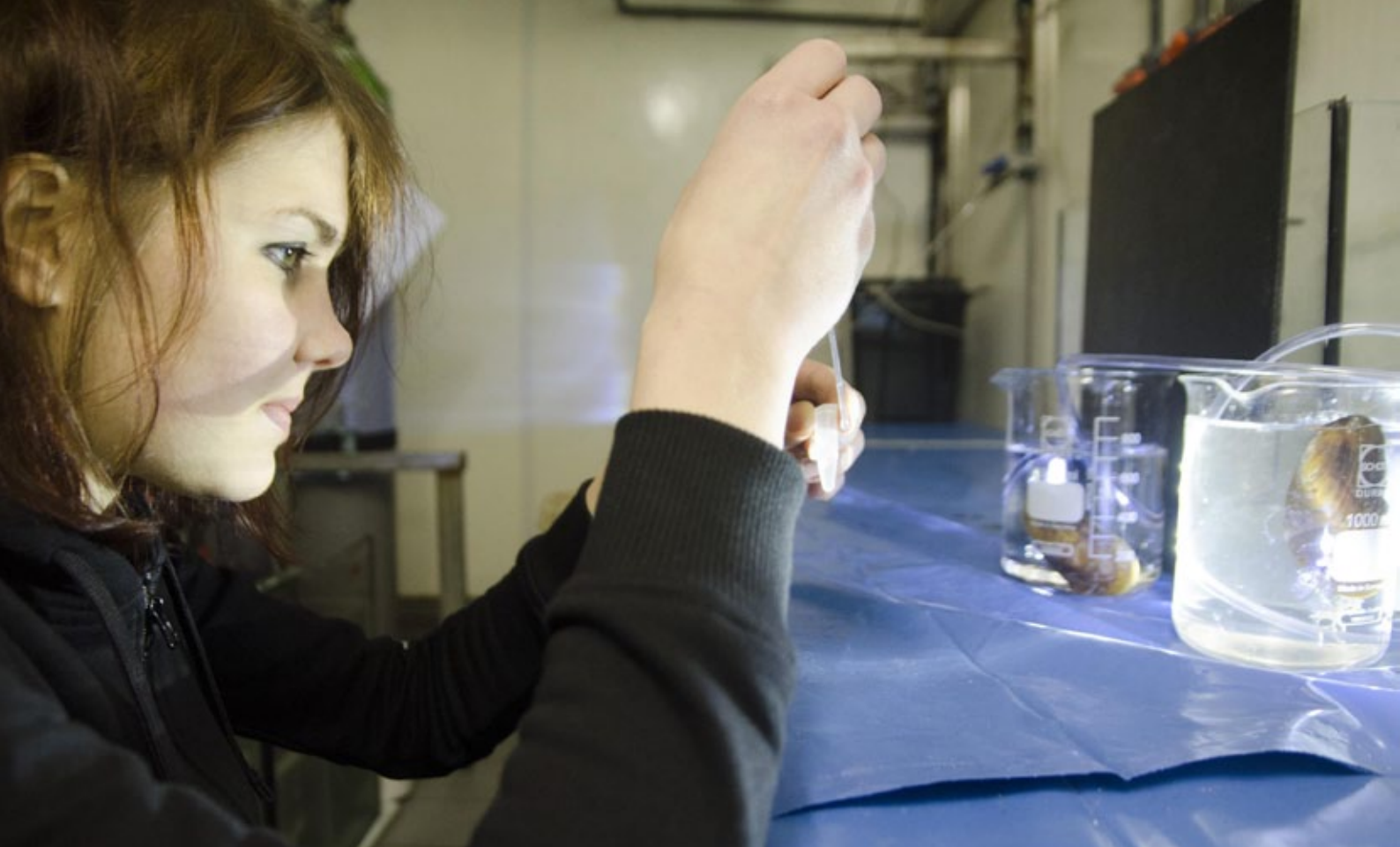
Tief unten im Ozean lagern Unmengen wertvoller Rohstoffe.
Sollen wir sie hochholen?

Auf dem Meeresgrund liegt ein Schatz. Keine Piraten-Beute, kein versunkenes Schiff – die Rede ist von Manganknollen, Kobaltkrusten und Massivsulfiden, die in mehreren Kilometern Wassertiefe lagern. Denn diese Jahrmillionen alten Gesteinsbrocken beherbergen Metalle, die viele Milliarden Euro wert sind. Bekannt ist das seit Jahrzehnten. Doch obwohl zahlreiche Nationen Interesse zeigen, obwohl die Technik voranschreitet und obwohl der Bedarf an Rohstoffen steigt, lagert der Schatz weiterhin am Meeresgrund. Für die Forschung ist das eine gute Nachricht: So bleibt mehr Zeit, wichtige Fragen zu klären. Wie etwa könnten die wertvollen Metalle an die Oberfläche gebracht werden, ohne dem Ökosystem Meer Schaden zuzufügen? Wie können Umweltrisiken besser eingeschätzt werden? Nicht nur internationale Forschungsverbünde spielen bei der Beantwortung eine Rolle, sondern auch eine kleine Tiefseemuschel – aber dazu später mehr.

Zunächst ein Blick auf die Fakten: Die faustgroßen, etwa pfunds schweren Manganknollen in 5.000 bis 6.000 Metern Tiefe bestehen vor allem aus Mangan- und Eisenoxiden und sind durch ihren Gehalt an Kupfer, Nickel und Kobalt für die Elektroindustrie und Stahlveredelung interessant. Schicht um Schicht lagern sich die im Meerwasser gelösten Metalle um Kristallisationskerne herum ab. Und das seit langer Zeit: Der Durchmesser einer Manganknolle wächst in einer Million Jahren um 10 bis 20 Millimeter. Die größten Vorkommen befinden sich im Nordostpazifik, wo stellenweise

die Hälfte des Meeresbodens mit diesen Knollen bedeckt ist. Während die Vorkommen von Kobaltkrusten und Massivsulfiden meist Inselstaaten gehören, liegen die Manganknollen vor allem auf internationalem Territorium jenseits der 200-Seemeilen-Zone. Um einen Run in Wildwest-Manier auf die besten Claims zu verhindern, werden die Lizenzen zum Abbau von Tiefsee-Bodenschätzen für 15 Jahre von der Internationalen Meeresbodenbehörde IMB mit Sitz in Kingston (Jamaika) vergeben. Sie verwaltet die Tiefsee-Rohstoffe im Auftrag der Vereinten Nationen seit 1994 als gemeinsames Erbe der Menschheit. Für die Beantragung eines Lizenzgebiets von 75.000 Quadratkilometern Größe – etwas mehr als die Fläche Bayerns – muss der Antragsteller ein doppelt so großes Gebiet vorerkunden – Bodenproben nehmen, Meereslebewesen erfassen – was mehrere Jahre dauert. Die IMB wählt dann eine Hälfte des Gesamtgebiets aus und stellt sie Entwicklungsländern zur weiteren Erkundung kostenlos zur Verfügung.

In der Clarion-Clipperton-Zone, einem Meeresgebiet zwischen Mexiko und Hawaii, liegt das deutsche Lizenzgebiet für Manganknollen. „Dort beträgt die Belegungsdichte zwischen 15 und 30 Kilogramm pro Quadratmeter, im Durchschnitt sind es knapp 20 Kilogramm“, erklärt Carsten Rühlemann, Meeresgeologe und Leiter der Explorationsarbeiten an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. In der Nachbarschaft: Großbritannien, Polen, Belgien, ►



Ein Händchen für Muscheln Corinna Breusing forscht für ihre Doktorarbeit an Tiefseemuschn. Bild: J. Steffen/GEOMAR

Südkorea, Frankreich, Russland – insgesamt 17 Staaten sind es, die hier ihre Claims abgesteckt haben. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover erkundet seit 2006 den deutschen Teil und hat Ende 2013 eine Explorationslizenz für Massivsulfide beantragt.

Die Forscher des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel dagegen befassen sich vor allem mit Umweltrisiken. Denn die Wahrscheinlichkeit eines kommerziellen Abbaus der Tiefsee-Rohstoffe wächst: Schon 1978 war der Prototyp einer „Erntemaschine“ eines internationalen Konsortiums auf Testfahrt, der Manganknollen nach Art eines Kartoffelroders einsammelte. Damals konnte das Gerät nicht zu wirtschaftlichen Bedingungen betrieben werden, mit dem heutigen Knowhow wäre dies für ein Nachfolgemodell denkbar. Auch steigt die Nachfrage nach Rohstoffen durch Schwellenländer wie China und Indien. Am GEOMAR weiß man um den Wert der Tiefsee-Rohstoffe. Doch ihr Abbau könnte zu einem wahren „Staubsturm“ im Pazifik führen, der laut GEOMAR-Direktor Peter Herzig „dem Ökosystem sicherlich nicht zuträglich“ wäre. „Wir sehen ein großes Problem in der Aufwirbelung von Sedimenten, die man sich nicht wie unseren Schlick und Küstenschlamm vorstellen darf. Es sind ganz feine, kaum verfestigte Teilchen.“ Im Verbund

mit den kontinuierlichen Tiefenströmungen von West nach Ost würde besagter Sturm entstehen, unter dem empfindliche Meeresbewohner begraben oder davon zumindest stark beeinträchtigt werden könnten. Wenn die Manganknollen mit einer Art Staubsaugersystem an Bord des Bergungsschiffs befördert werden, werden auch Sedimente aufgesaugt, die wieder eingeleitet werden müssen, was den Staubsturm noch potenziert. Ein damals wie heute ungelöstes Problem.

Ein möglicher Kartoffelroder ist aber auch deshalb noch nicht im industriellen Einsatz, weil ein solches Gerät dem Wasserdruck in bis zu 6.000 Metern Tiefe standhalten und bei einem Grad über dem Gefrierpunkt zuverlässig arbeiten müsse. „Südkorea ist der am weitesten fortgeschrittene Lizenznehmer und beim Heben der Knollen technisch weit voraus“, sagt Carsten Rühlemann. „Ein südkoreanischer Kollektor wurde in 1.400 Metern Tiefe erfolgreich getestet, für 2016 ist ein Test in 5.000 Metern Tiefe geplant. Bei der Aufbereitung der in den Knollen gebundenen Metalle dürfte am ehesten Indien über ein in industriellem Maßstab einsetzbares Verfahren verfügen.“ Deutschland fehle ein großes Unternehmen, das vorangehe: „Wir haben keinen großen Bergbaukonzern mehr und die kleinen scheuen das hohe finanzielle Risiko.“

Immerhin muss man für ein Abbausystem inklusive metallurgischer Verarbeitungsanlage rund 800 Millionen Euro in die Hand nehmen plus 250 Millionen jährliche Betriebskosten.“

Sollte der industrielle Abbau von Tiefsee-Rohstoffen einmal Wirklichkeit werden, so werden die Manganknollen sicherlich noch am wenigsten Arbeit machen – sie müssen „nur“ aufgesammelt werden. Die Kobaltkrusten dagegen sind fest mit dem Substratgestein verbunden. Sie kommen vor allem im westlichen Zentralpazifik vor und enthalten Kobalt, Nickel, Mangan, Titan, Kupfer und Cer sowie Spurenmetalle wie Platin, Molybdän, Tellur und Wolfram. Die Massivsulfide in 3.000 bis 4.000 Metern Wassertiefe schließlich sind vulkanischen Ursprungs und treten an aktiven und erloschenen Schwarzen Rauchern auf – Hydrothermalquellen, an denen bis zu 400 Grad Celsius heißes Wasser aus dem Meeresboden schießt. Dabei fallen Sulfidminerale aus und können Lagerstätten von einigen hundert Metern Durchmesser bilden. Sie bestehen aus Kupfer, Blei, Zink, aber auch Gold, Silber und Hochtechnologiemetallen wie Indium, Germanium, Wismut und Selen. Den Abbau dieser Metallerze stuft GEMOAR-Direktor Peter Herzig als weit weniger problematisch ein: „Hier würde in erster Linie Lavagestein aufgewirbelt, das sich schneller wieder absetzt.“ Allein vor Papua-Neuguinea sollen 2,5 Millionen Tonnen Metallsulfide lagern. „Damit könnte man das Berliner Olympiastadion zur Hälfte füllen“, sagt Herzig. Geschätzter Metallwert: 2,2 Milliarden Euro.

Um die ökologischen Folgen der Erschließung all dieser Rohstoffe abschätzen zu können, müsste eigentlich das gesamte Ökosystem untersucht werden, was in großen Tiefen sehr schwierig ist. Hierbei kommt nun eine kleine, eigentlich recht unscheinbare Muschel ins Spiel: die *Bathymodiolus childressi*, eine Tiefsee-Verwandte unserer Miesmuschel. Sie kommt in etwa 500 Metern Wassertiefe an kalten Quellen im Golf von Mexiko und an der US-Ostküste vor. Meeresforschern vom Kiel Marine Organism Culture Center, einem Gemeinschaftsprojekt des GEOMAR und des Kieler Exzellenzclusters „Ozean der Zukunft“, ist es nun gelungen, sie in Aquarien zu halten. „Mithilfe von Computermodellen können wir nachvollziehen, wohin die Muschellarven fortgetrieben werden“, sagt die Biologin Corinna Breusing von der Graduiertenschule HOSST, die unter Betreuer Thorsten Reusch am GEOMAR ihre Doktorarbeit schreibt. „Wir können feststellen, ob möglicherweise Strömungen, Fronten zwischen den Wassermassen oder ähnliche Barrieren den Austausch zwischen

verschiedenen Populationen verhindern.“ Auf der genetischen Ebene untersucht die Doktorandin, ob sich verschiedene Populationen kreuzen können oder ob bestimmte Reproduktionsmechanismen dies verhindern. Sollte sich herausstellen, dass es keine Verbindung zwischen den Populationen an verschiedenen Schwarzen Rauchern gibt und auch nicht geben kann, die Muscheln und andere Organismen also isoliert von anderen Habitaten leben, würde dies laut Breusing bedeuten: „Wenn man an einem Schlot etwas abbaut, wird das Ökosystem nicht nur zerstört, sondern es kann sich auch nicht regenerieren, weil sich keine neuen Individuen aus anderen Habitaten ansiedeln können.“ Mit den Daten aus der exemplarischen Arbeit an *Bathymodiolus childressi*, die nur an kalten Quellen vorkommt, sollen Computermodelle erstellt werden, die sich den an den mittelatlantischen Schloten vorkommenden Spezies möglichst annähern.

Neben allen ökologischen Bedenken gibt es aber auch ein wirtschaftliches am Mega-Projekt Tiefseebergbau: Ein massenhafter Abbau in der Tiefsee könnte zu einem generellen Rückgang der Rohstoffpreise führen, der die Exploration wiederum unwirtschaftlich machen würde. Meeresgeologe Carsten Rühlemann hat dies durchgerechnet – und kommt zu dem Schluss: „Ein Tiefseeunternehmen würde den Weltmarkt sicher nicht beeinflussen. Wenn zehn gleichzeitig anfangen, dann wäre das etwas anderes.“

Thomas Röbbke



Peter Herzig, GEOMAR-Direktor.

Bild: J. Steffen

Knollenrodung in der Tiefsee

Solche Kollektoren könnten in Zukunft Manganknollen vom Meeresboden aufsammeln.

Bild: Aker Solutions



Lässt sich der Wert der Natur in Euro messen?

Zwei Forscher argumentieren – dafür und dagegen



„Wir sollten wissen, welche ökonomischen Leistungen die Natur erbringt – und welcher Schaden entsteht, wenn sie wegfallen“,

sagt Bernd Hansjürgens, Leiter des Departments Ökonomie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig

Die Natur spielt bei den meisten unserer Entscheidungen keine Rolle. Wir berücksichtigen sie allenfalls, wenn es um unsere Versorgung mit Nahrungsmitteln, Holz oder Trinkwasser geht – oder wenn wir uns an ihrer Schönheit erfreuen. Dass die Natur aber weitere zentrale Leistungen erbringt, übersehen wir allzu oft: Flächen werden für Industrie oder Siedlungen freigegeben, ohne dass die Wirkungen auf das Mikroklima, den Wasserhaushalt oder die biologische Vielfalt berücksichtigt werden. Dass Auen vor Überschwemmungen schützen können, registrieren wir erst, wenn unsere Keller wieder einmal unter Wasser stehen. Und dass eine Stadt ohne Grün auch einen Verlust von Wohlbefinden und Lebensqualität bedeutet, merken wir dann, wenn es im Sommer unerträglich heiß wird und wir uns kaum noch draußen bewegen können.

Die vielfältigen Leistungen der Natur zu erfassen, ihren Wert für den Menschen – seine Gesundheit und sein Wohlbefinden – aufzuzeigen und in Entscheidungen zu integrieren, ist daher eine zentrale gesellschaftliche Aufgabe. Eine ökonomische Betrachtung kann da sehr hilfreich sein. Es geht dabei nicht um Monetarisierung, darum, Bäumen und Tieren Preisschilder aufzudrücken; das ist zweitrangig. Viel wichtiger ist es, eine Übersicht zu

bekommen: Welche Leistungen erbringt die Natur? Wer profitiert von ihnen in welcher Form? Und was passiert, wenn die Leistungen verloren gehen? Dafür braucht man eine ökonomische Bewertung, eine sachliche Kosten-Nutzen-Analyse. Durch sie werden bessere Entscheidungen möglich.

Diese Sicht verfolgt auch die internationale TEEB-Studie „The Economics of Ecosystems and Biodiversity“. Zahlreiche Beispiele in dieser Studie zeigen: Der Schutz der Natur lohnt sich auch ökonomisch. Allein dafür ist es wichtig, dass eine wirtschaftliche Bewertung von Naturgütern überhaupt stattfindet – einfach, damit der Nutzen des Schutzes nachweis- und belegbar ist. In Deutschland haben wir dies bereits für Mooregebiete, artenreiches Grünland oder die Wirkungen des urbanen Grüns auf Gesundheit und Wohlbefinden aufgezeigt. Als Studienleiter des deutschen Vorhabens „Naturkapital Deutschland – TEEB DE“ versuche ich mit meinem Team, weitere Beispiele zu finden, die zeigen: Eine volkswirtschaftliche Perspektive hilft dabei, die Umwelt zu bewahren. ■





„Besser keinen Wert für Umweltgüter angeben, als einen, der in die Irre führt“,

sagt Dirk Lühr, Professor für Steuerlehre und Ökologische Ökonomik an der Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld



Kann man Nutzen und Kosten von Naturgütern beziffern? Kann man beispielsweise sagen, was das Verschwinden einer hiesigen Bienenart die Menschheit kosten würde? Ich meine: Nein. Ein solches Verschwinden – zum Beispiel durch ein Pestizid – betrifft auch die Lebensgrundlagen eines nordafrikanischen Kleinbauern, da seine Anbauflächen im Verbreitungsgebiet der westlichen Honigbiene liegen. Er müsste befragt werden, wollte man einen Markt für Umweltgüter simulieren. Ist dabei seine Einschätzung weniger wert als die seines mitteleuropäischen Kollegen, nur weil er in einem simulierten Markt weniger Geld aufbringen könnte? Solche Verteilungsfragen fallen bei Umweltbewertungen gerne unter den Tisch. Eigentlich müssten sogar alle Menschen gehört werden, selbst wenn sie nicht unmittelbar betroffen sind – schließlich könnten auch sie sich an den Folgen stören und das Verschwinden der Bienenart in einer Kosten-Nutzen-Abwägung auf der Verlustseite einordnen. Eine solche Befragung ist schlicht unmöglich. Und ob jeder Beteiligte wohl die Höhe des möglichen Schadens in einer Zahl ausdrücken könnte? Was ist mit künftigen Generationen, die ebenfalls betroffen wären? Und wie sollte all das in einem einzigen monetären Wert zusammengefasst werden?

Um ein anderes Beispiel zu nennen: Eine neue Start- und Landebahn an einem Flughafen führt zu mehr Lärm, möglicherweise eröffnen sich aber auch Nischen für seltene Arten, die sich vorher dort nicht ansiedeln konnten. Der Lärm erzeugt Gesundheitsschäden bei Anwohnern und zugleich neue Arbeitsplätze in der Region. Wie sollte man all das messen, bewerten und gegeneinander aufwiegen?

Statt einer Monetarisierung von Umweltgütern ziehe ich eine konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips vor: In ein System sollte nur eingegriffen werden, wenn man die Folgen absehen kann – was zum Beispiel beim Einsatz von Gentechnik noch nicht der Fall ist. Ist die Umwelt betroffen, so müssen Grenzen gesetzt werden, die sich an außerökonomischen, naturwissenschaftlichen Kriterien orientieren. Hierfür braucht man aber keine Umweltbewertung. Hilfreich sind stattdessen Umweltindikatoren – etwa die Entwicklung der Gewässerqualität. Ergänzt werden können diese durch monetäre Indikatoren, wenn sie geeignet sind – wie die Kosten, die anfallen würden, wenn man sich für weniger umweltschädigende Maßnahmen entscheiden würde. Dominieren dürfen diese Indikatoren aber nicht. ■

Schluss mit der zertifizierten Inkompetenz!

Wenn plötzlich vierzehnmal so viele Abiturienten die 1,0 schaffen, aber nur 20 Prozent aller Studienanfänger einen komplizierten Text verstehen können, stimmt etwas nicht mit unseren Zeugnissen. Ein Kommentar von Heike Schmoll

Wer über die schwindende Aussagefähigkeit von Zeugnissen und anderen Leistungszertifikaten klagt, setzt sich leicht dem Vorwurf aus, kulturpessimistische Refrains zu wiederholen, die sich auf die einfache Sentenz verkürzen lassen, dass früher alles besser war.

Es wäre schön, wenn der Vorwurf zuträfe. Tatsächlich lässt sich eine Noteninflation, die mit den Schulabschlüssen beginnt und mit den Promotionen endet, statistisch problemlos nachweisen: 2002 zum Beispiel wurde in Berlin die Durchschnittszensur 1,0 im Abitur nur siebenmal erreicht, 2012 erhielten schon 234 Schüler die Bestnote. Vierzehnmal so viele. Die Zahl der Prüfungen dagegen erhöhte sich nur um den Faktor 1,4. Die wundersame Vermehrung der hochbegabten Einser-Schüler kann damit zusammenhängen, dass die Aufgaben leichter geworden sind, die Korrekturen milder waren oder die Jugendlichen von heute tatsächlich viel schlauer sind als noch vor zehn Jahren.

Dass von einem Quantensprung der Leistungen oder einer Begabenschwemme nicht die Rede sein kann, hat indes erst vor kurzem der Bildungsbericht 2014 belegt. Darin lässt ausgerechnet ein Befund aufmerken, den Autoren wie Bildungspolitiker auf den ersten Blick als Bestätigung der eigenen Reformen interpretiert haben: Der Anteil der Schulabbrecher unter den Jugendlichen ist von 9,8 Prozent im Jahre 2003 auf 5,9 Prozent 2013 zurückgegangen. Demnach müsste dann allerdings auch die Zahl der so genannten Risikoschüler, die an der untersten Stufe der Kompetenzen, also bis zum Ende ihrer Schulzeit auf einem niedrigen Grundschulniveau hängen bleiben, um zwei Fünftel zurückgegangen sein. Ist er aber nicht. Laut Bildungsbericht sank er lediglich um ein Viertel. Ganz offenkundig ist es also möglich, auch dann einen Schulabschluss zu bekommen, wenn man Mühe hat, aus einfachsten Texten Informationen zu entnehmen, vom kritischen Lesen einer dreißig-Zeilen-Zeitungsmeldung oder grundlegenden mathematischen Berechnungen (wie der Berechnung des privaten Budgets oder der Einschätzung von Ratenkäufen) ganz zu schweigen. Wie kann es sein, dass solche Schüler einen Schulabschluss erlangen?

Ein ganz neues Phänomen scheint die Zertifizierung von Inkompetenz nicht zu sein. Der Berliner Bildungsforscher Heinz-Elmar Tenorth hat die Zahlen des Bildungsberichts mit den Ergebnissen des Erwachsenentests PIAAC, einem Pisa für



Heike Schmoll (52) ist bildungs- und wissenschaftspolitische Korrespondentin der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* (FAZ) in Berlin.

Erwachsene, in Beziehung gesetzt. Der Befund ist erschreckend. Unter Erwachsenen mit höherer Bildung, also meist einem Hochschulabschluss, weisen 11,8 Prozent einen funktionalen Analphabetismus auf; Lesen und Schreiben können sie nur fehlerhaft. Unter Abiturienten wiederum findet sich laut PIAAC die Fähigkeit, längere Texte verständlich zu lesen, eine Schlüsselkompetenz der Studierfähigkeit, nur bei etwa 20 Prozent.

Das Abiturzeugnis, theoretisch ein Beleg für Studierfähigkeit, erweist sich damit als immer weniger aussagefähig über die tatsächlichen Leistungen. Es ist insofern kein Zufall, dass Universitäten vermehrt über ein Studium Generale oder über College-Modelle nachdenken. Noch besser wäre es, wenn es passgenaue Eingangsprüfungen gäbe. Doch deren Kosten überschreiten die personellen Möglichkeiten einer Universität. Auf ein Umdenken der Schulpolitiker zu hoffen, dürfte vergeblich sein. Umso mehr müssen Hochschulen und Universitäten sich davor hüten, die Inflation der Noten selbst zu betreiben und sich an der Zertifizierung von Inkompetenz zu beteiligen. Es ist ihre Pflicht, den Studenten diese Form des Selbstbetrugs zu ersparen, wenn sie ihre Zertifikate nicht selbst entwerten wollen. ■



→ JUNQ – Ungelöste Fragen

Spieglein, Spieglein an der Wand ...

Wer einen Partner sucht, will gefallen – und meint zu wissen, was ihn für den anderen attraktiv macht. Wirklich? Britische Neurologen sind dieser Frage nachgegangen. Ein Beitrag aus dem *Journal of Unsolved Questions (JUnQ)*



Kräftiger Bizeps beim Mann oder Wespentaille und üppiges Dekolleté bei der Frau – sind das wirklich die Attribute, die uns für andere attraktiv machen? Im Rahmen einer Studie haben Studentinnen wie Studenten am Computer 3D-Modelle von dem nach ihrer Vorstellung idealen weiblichen und männlichen Körper erstellt. Um eine Beeinflussung durch das vorgegebene Modell zu vermeiden, mussten die Teilnehmer die Aufgabe einmal von einem untergewichtigen und einmal von einem übergewichtigen Ausgangsmodell aus lösen. Die Forscher verglichen dann die erstellten Traumkörper nach objektiven Kriterien: Dazu haben sie die Verhältnisse der Taille zur Hüfte und zur Brust sowie die Relation von Körpergröße und Gewicht (Body Mass Index, BMI) bestimmt.

Das Ergebnis der Studie: Frauen und Männer haben ähnliche Vorstellungen von der idealen Körperform ihres wie des anderen Geschlechts. Und sie haben ein klares Bild davon, was das andere Geschlecht attraktiv findet: Die Studienteilnehmer und -teilnehmerinnen bevorzugten einen sehr kurvigen weiblichen Körper an der Grenze zum Untergewicht. Der ideale männliche Körper

ist laut Studie schmal in Taille und Hüfte und weist einen muskulösen, V-förmigen Oberkörper auf. Da der BMI das hohe Gewicht von Muskeln nicht berücksichtigt, wäre ein solcher Körper in der BMI-Wertung übergewichtig.

Interessant wird es, wenn man die tatsächliche Statur der Studienteilnehmer mit ihrem Traumkörper vergleicht: Fast alle Frauen hatten einen höheren BMI als ihr Ideal, während die Männer zu gleichen Teilen einen höheren wie niedrigeren BMI aufwiesen. Und: Beide Geschlechter neigen zur Überkompensation ihres eigenen Ideals. Frauen bevorzugen noch mehr Oberweite, als Männer an ihnen attraktiv finden, und Männer streben nach noch mehr Muskeln, als es den Frauen gefällt. Offen ist, woher diese Überkompensation kommt und ob Schönheitsideale sich mit dem Alter, dem sozialen Status und der Nationalität unterscheiden. Und auch die vielleicht wichtigste Frage bleibt ungelöst: Wie glücklich sind wir damit, nach einem so realitätsfernen Ideal zu streben? ■

Felix Spenkuch

Weitere
ungelöste Fragen:
→ www.junq.info





Ganz oben

Schönheit und Zerfall begegnen den Forschern am höchstgelegenen Arbeitsort Deutschlands: der Zugspitze. Mithilfe von Schnee in Plastikheimern und ein paar Kugeln erforschen sie hier die kosmische Strahlung. Eine Reportage

Der Weg zur Arbeit führt Kerstin Hürkamp und Werner Rühm heute heraus aus der überhitzten Stadt: Schon bald tauchen hinter der Autobahn Richtung Süden die Alpen auf, als graue, nach hinten gestaffelte Silhouette. Das helle Grün des jungen Sommers säumt den Wegrand, an Wiesen und

Heuschobern vorbei geht es bis zum Eibsee. Dort gibt ein Hinweisschild auf Japanisch und Deutsch die Richtung an: Zugspitze. In der Seilbahn knipsen Touristen das Azurblau des Eibsees, die Schneeresste, die in den Felsritzen noch dem Sommer trotzen, und sich selbst. „Top of Germany“ steht auf einem

Hinweisschild, und das ist nicht der einzige Superlativ hier oben: Schließlich beherbergt die Zugspitze auch Deutschlands höchstgelegenen Biergarten, Deutschlands höchstgelegene Kapelle, Deutschlands größten Gletscher. Und „den schönsten Arbeitsplatz Deutschlands“, wie Kerstin Hürkamp findet, wenn sie von der Aussichtsplattform aus nach unten schaut. „Wie Urlaub“ sei das, hat sie ihrem Chef mal gesagt, „aber das mochte der gar nicht so gerne hören.“

Das Wort „zeitlos“ fällt einem ein beim Blick aufs Wettersteingebirge, aber es ist hier oben vollkommen fehl am Platz. Denn vielleicht nirgendwo sonst in Deutschland hinterlässt die Zeit so tiefe Spuren. Da liegt der Südliche Schneeferner: ein ehemaliger Gletscher, der längst sein Nährgebiet verloren hat, ein „Toteis“. Daneben der Nördliche Schneeferner, der bis vor zwei Jahren mit reflektierenden Folien bedeckt wurde, um sein Abschmelzen zu verlangsamen. Auch damit ist jetzt Schluss; in 30 Jahren wird er vermutlich ganz verschwunden sein. Ein paar Schneeraupen betreiben gerade „Snow Farming“, sie schieben Schnee auf engen Raum zusammen, um dessen Abschmelzen zu verlangsamen und ihn im Winter, wenn die Skifahrer anrücken, wieder ausbringen zu können.

Irgendwie passend, dass sich die promovierte Geologin Kerstin Hürkamp und der Physikprofessor Werner Rühm hier oben, wo sich Schönheit und Zerfall begegnen, ebenfalls mit Zerfall beschäftigen – wenn auch mit einer ganz anderen Art davon. Ihnen geht es um die Auswirkungen der etwa beim Zerfall radioaktiver Atomkerne entstehenden ionisierenden Strahlung auf Mensch und Natur.

„Schnee bringt mehr radioaktives Material auf den Boden als Regen“

Wir fahren mit einer kleinen Seilbahn vom Zugspitzplatt hoch zur Umweltforschungsstation Schneefernerhaus. Es ist ein ehemaliges Hotel aus den 30er Jahren, dessen acht Stockwerke sich an den Fels schmiegen. Viele Male ist es um- und ausgebaut worden, jede Zeit hat ihre Spuren hinterlassen: den holzvertäfelten kleinen Aufzug, den Jugendherbergschmuck der neu eingerichteten Übernachtungszimmer, die blauen, zweckmäßigen Linoleumböden in den Laboren, die neu verlegten Eichböden im Konferenzsaal. Im zweiten Stock liegt das Labor des Helmholtz Zentrums München, große Plastikeimer stehen dort in einer Ecke. Immer wenn es frisch geschneit hat, holt Kerstin Hürkamp mit

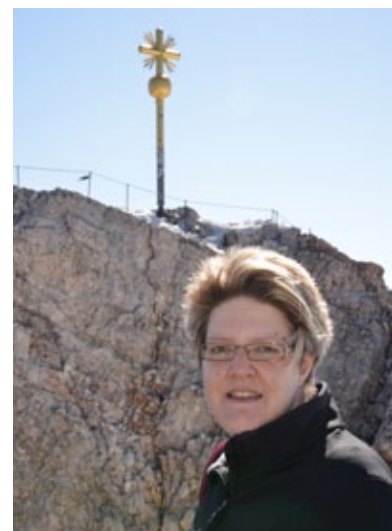
ihnen den Neuschnee von der Messterrasse herein. Anschließend schmilzt er und kommt in den Rotationsverdampfer. Was Hürkamp vor allem interessiert, sind die radioaktiven Stoffe, die er enthält.

Denn wenn sich radioaktives Material in der Luft befindet, wäscht der Regen es zu Boden – die so genannte Deposition. Mithilfe von Modellen lässt sich präzise berechnen, wie schnell eine wie große Menge niedergeht. Das ist wichtig, wenn zum Beispiel nach der Freisetzung radioaktiver Stoffe in kurzer Zeit verlässliche Aussagen über die Kontamination gemacht werden müssen. Was aber, wenn es nicht regnet, sondern schneit? „Das war bisher ein unbearbeiteter Pfad der Radioökologie“, sagt Kerstin Hürkamp. Dabei holt Schnee noch mehr radioaktives Material auf den Boden als Regen.

Um den Prozess zu verstehen, muss Hürkamp genau hinschauen: Wie viel Schnee fällt in wie kurzer Zeit? Was ist seine Temperatur? Woher weht der Wind? Wie ist der Schnee beschaffen? Vor allem die Form der einzelnen Flocken ist wichtig. Denn je größer deren Oberfläche, umso mehr Radionuklide nehmen sie auf. Deshalb unterscheidet Hürkamp die Kristallformen: Um ein „dendritisches Ereignis“ handelt es sich, wenn sechsarmige Kristalle fallen. Um ein „Mischereignis“, wenn mehr als die Hälfte der Flocken anders aussehen, etwa wie nadelige Kristalle.

Dabei hilft ihr ein 2D-Video-Distrometer, das auf der Messterrasse des Schneefernerhauses steht. Es handelt sich um einen metallenen, oben offenen Zylinder, in den die Schneeflocken fallen. Sie werden von zwei versetzt angebrachten Laserkameras gescannt, so dass für jede einzelne Flocke zwei zweidimensionale Bilder entstehen. Eine vom Helmholtz Zentrum München neu entwickelte Software analysiert diese und bestimmt die Art des Schnees. Aus Bildern und Messwerten berechnet Hürkamp, welche Kontamination auf die Erde schneit.

Wichtig ist all das auch in Hinblick auf den Klimawandel. Denn erstens entstehen Extremereignisse wie Schneestürme häufiger als früher, und sie sind, nun ja: extremer. Und zweitens können auch spät im Jahr noch Schneefälle auftreten. „Hier auf der Zugspitze haben wir 2013 erst Anfang Juni die höchste Schneehöhe erreicht“, sagt Hürkamp. Also zu einer Zeit, in der unten im Tal längst Kühe grasten und das Korn auf den Feldern wuchs. Wenn zu dieser Zeit nach einer radioaktiven Freisetzung der Schnee die Radionuklide zu Boden wäscht, kann er größeren Schaden anrichten. Auch Gebirgsbäche und Trinkwasser können



Kerstin Hürkamp vor dem Gipfelkreuz der Zugspitze. Bild: A. Unger

kontaminiert werden, wenn das erste Schmelzwasser unfiltriert ins Tal rinnt.

Dies führt zur zweiten Frage der Forscher auf der Zugspitze: Wie wirkt Strahlung auf den Menschen? Kerstin Hürkamp und Werner Rühm interessieren sich dabei vor allem für die so genannte sekundäre Strahlung. Sie entsteht, wenn kosmische Teilchen, etwa ein Proton aus dem Weltall, auf andere treffen, etwa einen Sauerstoffkern. Dieser zerplatzt und setzt Ionen und Neutronen frei – die sekundäre Strahlung.

Etwa die Hälfte der auf der Erde ankommenden Strahlendosis geht auf die Rechnung von Neutronen. Auf dem Schneefernerhaus können sekundäre Neutronen der kosmischen Strahlung gemessen werden – und zwar nicht nur ihre Zahl, sondern auch ihre Energie, also die Geschwindigkeit, mit der sie unterwegs sind.

„Auch Strahlentherapie setzt Neutronen frei, die das Erbgut schädigen und Krebs verursachen können“

Rühm steht auf der Messterrasse in einem winzigen Holzhaus. Es sieht aus wie ein extrem hohes, steiles Dreieckszelt. Warum die Wissenschaftler das Gebäude „Kugelalm“ nennen, zeigt sich in seinem Inneren: Dort sind auf halber Höhe

15 weiße, kugelförmige Neutronendetektoren verschiedener Größe angebracht. Jede Kugel registriert Neutronen, die mit unterschiedlich viel Energie auf die Detektoren einprasseln.

Jeder Mensch nimmt pro Jahr durch kosmische Strahlung eine Dosis von etwa 300 Mikrosievert auf – das ist rund sechsmal weniger als durch medizinische Anwendungen wie Röntgen. Es gibt aber große Schwankungen: Flugpersonal ist deutlich höheren Strahlungsdosen ausgesetzt. Das Helmholtz Zentrum München hat ein Programm entwickelt, mit dem sich die Dosis von Flugpersonal errechnen lässt – sie variiert je nach Flughöhe, -dauer und -route. Unter anderem nutzen die Lufthansa und Air France dieses Programm. Hier oben lassen sich die damit errechneten Werte überprüfen.

In Zukunft sollen aber auch Krebspatienten von den Erkenntnissen der Zugspitzen-Forscher profitieren. Um das zu erklären, spannt Werner Rühm einen großen Bogen von der Messung sekundärer kosmischer Strahlung zu sekundärer Strahlung bei Krebstherapien: Protonen strahlen nicht nur ungerichtet aus dem Weltall, sondern können sich in einem Beschleuniger bündeln und dann gezielt auf Tumore richten lassen, deren Zellen dadurch zerstört werden. Das wird zum Beispiel in München an der Rinecker Klinik praktiziert. Allerdings fällt bei dieser Behandlung auch unerwünschte sekundäre Strahlung an: Die Protonen treffen auf Gewebe und lösen dabei Neutronen heraus – so wie es auch passiert, wenn kosmische Strahlung auf die Atmosphäre trifft. Diese Neutronen wandern durch den Körper, treffen dabei auf DNA und beschädigen sie. Das kann Krebs verursachen – vielleicht erst zehn oder zwanzig Jahre nach der ersten Therapie. Mittlerweile treten bei immer mehr Langzeitüberlebenden Spätschäden wie zum Beispiel Sekundärtumore auf. „Wie groß das Risiko dafür ist, wird erst seit Kurzem diskutiert“, sagt Werner Rühm. „Wir aber können die Dosis der sekundären Strahlung mit den Methoden, die wir auf dem Schneefernerhaus entwickeln und anwenden, tatsächlich messen.“ Irgendwann, so das Ziel, werden die möglichen Auswirkungen simulierbar und damit prognostizierbar sein: „Wir werden das Risiko, dass sekundäre Tumoren entstehen, quantifizieren können.“

Draußen auf der Messterrasse, wo Rühms „Kugelalm“ und Hürkamps Distrometer stehen, geht der Blick hinaus auf das Wettersteingebirge. Manchmal, erzählt Hürkamp, steht sie um fünf Uhr morgens aus ihrem Bett im Schneefernerhaus auf, macht sich einen Kaffee, schnappt sich einen



Schnee erwünscht Die Messterrasse mit der „Kugelalm“. Bild: M. Neumann/Schneefernerhaus



Neutronenfalle Im Innern der „Kugelalm“ misst Werner Rühm mit kugeligen Neutronenspektrometern einfallende Neutronen. Bild: A. Unger

Stuhl und wartet auf die eine Minute, in der die Sonne kurz davor ist, über die Gipfel zu klettern. In der sie nur ihre roten Strahlen vorausschickt aufs Bergmassiv. Alpenglühen heißt das, aber das ist untertrieben. Eigentlich sieht es aus, als stünde alles in Flammen. Es ist ein Ereignis, das anders ist als alle Ereignisse, die sie und Rühm in ihrem

Forscherleben verfolgen, anders als Störfälle, Mischereignisse, Bestrahlungen. Es ist vorhersehbar, aber nicht reproduzierbar, längst erklärt, im Grunde vollkommen trivial, geradezu banal. Aber einzigartig. Jedes Mal wieder. —

Andreas Unger



DAS SCHNEEFERNERHAUS

Auf Deutschlands höchstgelegener Forschungsstation sind drei Helmholtz-Zentren vertreten: Vom Helmholtz Zentrum München arbeiten Forscher des Instituts für Strahlenschutz und des Departments für Umweltwissenschaften auf der Zugspitze. Wissenschaftler vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie erkunden die Verteilung von Wasserdampf in der Atmosphäre. Dazu schießen die Wissenschaftler kurze Lichtpulse aus einem Laser senkrecht nach oben und messen, in welcher zeitlichen Abfolge das Licht aus der Atmosphäre zurückgestreut wird. Wasserdampf ist einerseits das wichtigste Treibhausgas und deshalb mit verantwortlich für die Klimaerwärmung, anderer-

seits trägt er zur Bildung von Wolken und Niederschlag bei, was auch kühlende Effekte haben kann. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ist ebenfalls auf der Zugspitze vertreten, und zwar mit dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum, dem Institut für Methodik der Fernerkundung und dem Institut für Physik der Atmosphäre. Darüber hinaus forschen der Deutsche Wetterdienst, die LMU München, die Max-Planck-Gesellschaft, die TU München, das Umweltbundesamt, die Uni Augsburg, der Freistaat Bayern und wechselnde Forschungspartner im Schneefernerhaus.

→ www.schneefernerhaus.de/forschung



Rat vom Wissenschaftler Der Bildungsforscher Manfred Prenzel evaluiert Helmholtz. Bild: David Ausserhofer

„Das sind große Kuchenstücke der Forschungsförderung“

Vor zehn Jahren wurde die Forschungsfinanzierung der Helmholtz-Gemeinschaft umgestellt: Seitdem läuft ein Wettbewerb um die Mittel. Wie gut er funktioniert, prüft jetzt der Wissenschaftsrat. Ein Gespräch mit seinem Vorsitzenden Manfred Prenzel

Herr Prenzel, als wir Sie um dieses Interview baten, war das in Ihrer Funktion als Vorsitzender der Arbeitsgruppe, die die Helmholtz-Gemeinschaft evaluieren soll. Oder genauer: die Programmorientierte Förderung (POF). In der Zwischenzeit sind Sie auch zum Vorsitzenden des Wissenschaftsrats gewählt worden. Beide Aufgaben zusammen dürften Ihnen ein stressiges zweites Halbjahr bereiten.

Prenzel Stressig vielleicht. Vor allem aber spannend.

Worum geht es bei Ihrem Auftrag eigentlich wirklich? Sollen Sie nur die POF evaluieren oder am Ende nicht doch Helmholtz insgesamt?

Natürlich ist die POF für die Helmholtz-Gemeinschaft ein Schlüsselthema, weil damit ein großer Teil der Finanzierung gesichert oder zumindest strukturiert wird. Bei der Evaluierung werden wir uns auch ansehen, wie die POF als Teil der Steuerung der Helmholtz-Gemeinschaft insgesamt dazu beiträgt, dass diese ihre Aufgaben im Wissenschaftssystem erfüllt. Insofern kann ich nachvollziehen, dass viele Helmholtz-Mitarbeiter auf

unsere Gruppe schauen, womöglich auch ein wenig ängstlich. Doch ich kann Sie beruhigen. Wir werden uns sicher nicht vornehmen, Helmholtz und seine Leistungsfähigkeit als Ganzes zu bewerten, da würden wir uns überheben. Und was die POF angeht, so liegt es doch im Interesse aller Kolleginnen und Kollegen in den Zentren, dass ein solches Verfahren zukunftsorientiert, fair, verlässlich und transparent ist.

Warum aber gerade jetzt? Hat das etwas mit dem Strategiepapier „Helmholtz 2020“ zu tun, das Ende 2012 für hitzige Debatten in der Wissenschaftslandschaft sorgte?

Das sehe ich nicht so. Der Wissenschaftsrat sagt ja nicht: Wir müssen jetzt einer Gemeinschaft, die sich in der Architektenrolle sieht, klar machen, dass es auch Statiker und andere Leute gibt, die bei der Gebäude- und Landschaftsplanung mitwirken. Überhaupt nicht.

Dennoch stehen zurzeit nur die Verfahren bei Helmholtz zur Überprüfung an.

Sicherlich könnte man auch bei anderen Forschungsorganisationen hinschauen, ►



DIE PROGRAMMORIENTIERTE FÖRDERUNG (POF)

Im Jahr 2004 begann die Helmholtz-Gemeinschaft, ihre Forschungsmittel auf zentrenübergreifende Forschungsprogramme zu verteilen, in denen die inzwischen 18 Mitgliedszentren aktiv sind. Die Wissenschaftler der Helmholtz-Zentren haben diese Programme entworfen, die miteinander im Wettbewerb stehen und alle fünf Jahre von hochkarätigen internationalen Gutachtern evaluiert werden. So soll die Helmholtz-Forschung auf die wichtigen Zukunftsthemen ausgerichtet und international konkurrenzfähig bleiben.

ob deren Verfahren geeignet sind. Was Helmholtz vorrangig interessant macht, sind die Summen, um die es geht: Derzeit rund 3,5 Milliarden Euro pro Jahr. Das sind große Kuchenstücke der bundesfinanzierten Forschungsförderung. Hinzu kommt: Es gibt die POF jetzt seit gut zehn Jahren. Nach drei kompletten Durchläufen ist es an der Zeit, Bilanz zu ziehen. Ist es noch das kritische Verfahren, das wirklich die Zukunftsthemen in die Forschung bringt? Inwieweit gerät die POF in die Gefahr, nur noch sehr einfach und kontinuierlich und stabil Geld zu transferieren? 2015 wird die Helmholtz-Gemeinschaft 20 Jahre alt. Seitdem ist eine Menge geschehen – nicht nur bei Helmholtz, sondern im gesamten Wissenschaftssystem. Man kann da also viele andere Fragen mit anklingen lassen, die mit dem Begriff Evaluation vielleicht falsch bezeichnet sind. In jedem Fall gibt es eine Reihe guter Gründe dafür, dass das Bundesministerium für Bildung und Forschung den Wissenschaftsrat gebeten hat, Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Programmorientierten Förderung vorzulegen.

Sie sagen, der Begriff Evaluation passe vielleicht nicht hundertprozentig. Bei einer Evaluation würde es vor allem um eine Entscheidung gehen: einstellen oder weiterführen.

Und genau um diese simple Frage geht es erst einmal nicht. Wissenschaftsratsempfehlungen können und sollen in

erster Linie helfen, besser zu werden und Verfahren zu optimieren. Natürlich wollen wir auch verstehen, wie sich die POF verändert hat im Laufe der Zeit – und warum. Vor allem interessiert uns die Frage, wie die POF als Förderungs- und Steuerungsinstrument funktioniert. Fest steht, dass die Arbeitsgruppe sehr verantwortungsbewusst mit ihrem Auftrag umgehen wird. Sie wird sicherlich nicht vorschlagen, die POF abzuschaffen, ohne ein besseres Instrument anbieten zu können. Deshalb dürfte es insbesondere um mögliche Weiterentwicklungen gehen.

Der POF oder von Helmholtz?

Der Governance, die beide miteinander verbindet.

Im Grunde sprechen wir bei der POF über ein administriertes Peer-Review-Verfahren: Wissenschaftler evaluieren Wissenschaftler, größtenteils Fachkollegen. Ist es an der Zeit, Peer-Review-Verfahren insgesamt zu überdenken?

Ich glaube, die eigentliche Frage ist eine andere. Ist das jeweils gewählte und implementierte Peer-Review-Verfahren geeignet? Die Kosten der POF sind in Relation zu den Summen, über die am Ende entschieden wird, nicht wirklich hoch. Darum stellt sich eher die Frage, ob dieses Peer-Review-Verfahren feinkörnig genug ist. Geht es ausreichend in die Tiefe? Und gibt es auch genug Konsequenzen am Ende?

Was meinen Sie konkret?

Wir wollen herausfinden, wie die Einschätzungen der Gutachter in den weiteren Prozess eingehen. Wie werden sie interpretiert, gefiltert? Inwieweit sind sie am Ende tatsächlich ein Bezugssystem für die Finanzierungsentscheidungen, welche Rückwirkungen haben sie auf die Orientierung der Programme? An den Stellen kann man sich, wenn man will, abarbeiten.

Wer sitzt eigentlich in so einer Wissenschaftsrats-AG und trifft die Entscheidungen?

Vor allem gut geerdete und erfahrene Leute. So eine Gruppe versammelt zum einen eine hohe fachliche Expertise, zum anderen sind das Kolleginnen und Kollegen, die internationale Verfahren gut kennen und mit Governancefragen vertraut sind. Persönlichkeiten, die Spitzenpositionen haben in Forschungsorganisationen und Universitäten.

An denen jetzt von allen Seiten gezerrt wird?

Überhaupt nicht. Meine Erfahrung ist, dass die Wissenschaftsszene die Arbeitsgruppen in Ruhe arbeiten lässt. Natürlich kommen von Helmholtz Signale nach dem Motto: Wenn ihr Informationen braucht, sagt es, wir liefern am besten gestern. Das finde ich gut, das verbinde ich aber nicht mit der Idee einer Einflussnahme. Und es gibt in diesem Kontext überhaupt keine Versuche einer informellen Kontaktaufnahme von anderen Wissenschaftsorganisationen.

Wie laufen die Sitzungen der Arbeitsgruppe ab?

Zunächst bekommen wir unendlich viel Hintergrundinformation. Über Helmholtz selbst, über die POF, jede Menge Daten, um uns einen Überblick zu verschaffen. Auf dieser Basis finden dann die ersten Sitzungen statt, in denen wir unsere Fragen formulieren. Daraufhin fordern wir weitere Daten an. Dann gibt es Anhörungen; wir laden Gesprächspartner ein,

Helmholtz-Leute, Kooperationspartner, die politische Umgebung. Auch die Geldgeber aus Bund und Ländern. Und am Ende verabschieden wir Empfehlungen, die möglichst konkret und konstruktiv sein werden.

Wie oft trifft sich die Gruppe, bis das Ergebnis steht?

Ich schätze, unter fünf Sitzungen von jeweils ein bis zwei Tagen werden wir nicht wegkommen. Das ist schon eine sehr große Unternehmung. Nach jeder Sitzung gibt es ein ausführliches Protokoll, das wir beim nächsten Mal durcharbeiten und schauen: Wo besteht Einvernehmen? Das wird zur Basis dessen, was am Ende im Bericht steht.

Schickt die Arbeitsgruppe Abordnungen in die Zentren?

Möglich ist das, aber sicher werden wir nicht überfallartig auftauchen und auf einzelne Mitarbeiter losgehen. Ob wir nun vor Ort gehen oder nicht, ganz sicher werden uns Personen interessieren, die bei Helmholtz eine Rolle spielen, sei es auf der Zentren- oder auf der Programmsprecher-Ebene. Stichprobenartig, versteht sich.

Erkundigen Sie sich auch bei Doktoranden und Postdocs, wie es ihnen bei Helmholtz gefällt?

Ich würde es nicht ausschließen. Wobei schon die Frage ist, was ich davon habe, wenn ich einen Postdoc interviewe. Bekomme ich nicht möglicherweise genauere Informationen, wenn ich bei Helmholtz um Karriereweg-Statistiken bitte? Die könnten für uns vielleicht interessanter sein, als jetzt ein Individuum zwei Stunden lang auszuquetschen.

Wann ist mit Ergebnissen der Arbeitsgruppe zu rechnen?

Ich hoffe, dass wir unsere Empfehlungen im Oktober 2015 vorlegen können.

Vor wenigen Tagen haben Sie Ihr Amt als Vorsitzender des Wissenschaftsrats angetreten. Worin sehen Sie Ihre wichtigsten Aufgaben für die kommenden Jahre?

Zunächst geht es für mich darum, das „Erbe“ möglichst gut zu entwickeln. Zum Erbe zählt für mich zum Beispiel das Papier zu den „Perspektiven des deutschen Wissenschaftssystems“. Hier gilt

es zu sehen, ob und wie die Empfehlungen, etwa die zur Profilierung der Forschungslandschaft oder zur Fortsetzung der Exzellenzinitiative, umgesetzt werden und wie die Entwicklung vorangetrieben werden kann. Die Stärkung der Hochschulen ist und bleibt ein wichtiges Thema. Besondere Aufmerksamkeit möchte ich auf die Situation und die Perspektiven des wissenschaftlichen Nachwuchses richten. Und nicht zuletzt besteht eine Hauptaufgabe darin, bei jeder Gelegenheit verständlich zu machen, welchen zentralen Stellenwert Forschung und Lehre für unsere Gesellschaft haben – nicht nur für die Wirtschaft, sondern für das Wohlergehen aller. Ich fürchte, das wird manchmal vergessen. ■■■

Interview: Jan-Martin Wiarda

Manfred Prenzel, 62, ist seit dem 1. Juli Vorsitzender des Wissenschaftsrats. Prenzel gehört zu Deutschlands führenden Bildungsforschern und war unter anderem nationaler Projektmanager der Pisastudien 2003 und 2006. An der Technischen Universität München hat er als Gründungsdekan mit der TUM School of Education eine Fakultät für Lehrerbildung aufgebaut, die bundesweit als Vorbild gilt. Prenzel leitet die Wissenschaftsrats-Arbeitsgruppe zur Evaluation der Programmorientierten Förderung (POF) bei Helmholtz.





Die Frau mit der Gen-Schere

Sie entledigen sich ihrer Feinde, indem sie deren Erbgut zerschneiden:
Diesen einfachen Trick von Bakterien nahm sich Emmanuelle Charpentier
zum Vorbild – und revolutionierte damit die Molekularbiologie

Podcast über
E. Charpentier auf:
→ [www.helmholtz-hzi.de/
podcast_crisprcas](http://www.helmholtz-hzi.de/podcast_crisprcas)

Paris, 1981. Die zwölfjährige Emmanuelle kommt aus der Schule heim, heute stand ihr Lieblingsfach auf dem Stundenplan: Biologie. Zu ihrer Mutter sagt das Mädchen: „Eines Tages werde ich am Pasteur Institut arbeiten!“ Eine selbstbewusste Prognose – doch Jahre später schließt Emmanuelle Charpentier tatsächlich am renommierten Pariser Forschungszentrum ihre Doktorarbeit ab. Was sie als Zwölfjährige aber nicht voraussehen konnte: dass sie 30 Jahre später, als gestandene Biologin, eine kleine Revolution in Gang setzen würde.

Charpentier beschäftigt sich zu dieser Zeit mit der Virenabwehr von Bakterien: Sie entledigen sich ihrer Feinde, indem sie deren DNA einfach zerschneiden. Ob ein solcher Schneidemechanismus wohl nachgeahmt werden kann? Die Forscherin weiß, wie viele ihrer Kollegen damit beschäftigt sind, Genabschnitte zu zerteilen, gewünschte Abschnitte zu entfernen, einzufügen oder zu korrigieren. Bisher benötigen sie dafür viele Monate, eine regelrechte Bastelarbeit. Charpentiers Ehrgeiz: Sie will den bakteriellen Schneidemechanismus erst verstehen, dann nach- und in eine Art Universalwerkzeug umbauen. Gentechnische Eingriffe würden so viel schneller als bisher möglich. Es gäbe neue Therapiemöglichkeiten, etwa bei der Behandlung von menschlichen Erbkrankheiten. Das Problem: „Wir hatten zwar entdeckt, wie die Immunabwehr bei Bakterien funktioniert und wie wir sie für eine neue Technologie nutzen können“, erzählt sie rückblickend, „aber mir fehlte der letzte Baustein, damit das System für ganz unterschiedliche Zellen und Anwendungen funktioniert.“

Diesen letzten Baustein entschlüsselt sie im hohen Norden Schwedens. Nach Stationen in den USA und Österreich wechselt sie 2009 an die Universität in Umeå – und damit in genau das richtige Umfeld für ihre Grundlagenforschung: Die finanziellen Bedingungen sind hervorragend, der universitäre Fokus ist stark auf Mikrobiologie gerichtet. Charpentier hat die Freiheit, auch risikoreiche und arbeitsintensive Projekte zu verfolgen – etwa ihre Gen-Schere.

Und tatsächlich: 2012 veröffentlicht die Wissenschaftlerin eine komplette Anleitung für den Schneidemechanismus im Fachmagazin *Science*. Seitdem nutzen Wissenschaftler rund um den Globus das neue System. Die Technologie der ehemaligen Biologie-Einser-Schülerin erobert die Welt.

Seit Anfang 2013 ist Charpentier in Braunschweig zu Hause. Am dortigen Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung

leitet die 45-Jährige die Abteilung Regulation in der Infektionsbiologie. Dass sie häufig umziehen, sich immer wieder mit einer neuen Sprache, einer anderen Kultur arrangieren muss, gehört für die Französin zum Job dazu. „Das hat mich kreativer gemacht, mir immer wieder neue Impulse gegeben“, sagt sie. Ihren Doktoranden und Postdocs rät sie deshalb dringend zu einem Auslandsaufenthalt. Sie predigt geradezu, dass Chancen ergriffen werden müssen. „Einige Leute sehen das Glück auch dann nicht, wenn es sie in die Nase zwick. Du musst es provozieren und dann zupacken.“ Nie das Land zu verlassen, die Wissenschaft als Nine-to-five-Job zu betrachten, das funktioniere nicht. „So kann man keine Karriere machen. Man muss realisieren, dass man in einem harten Wettbewerb steht.“

An der Medizinischen Hochschule Hannover hat Charpentier mittlerweile auch eine der 40 hoch dotierten Humboldt-Professuren inne – als dritte Frau neben 37 Männern. Muss man da nicht automatisch für eine Quotenregelung sein? Nein, findet Charpentier: „Diese Art von positiver Diskriminierung würde Frauen eher schaden. Ich fürchte, dass ihre Forschung als zweitklassig angesehen würde.“ Dennoch beobachtet sie, dass Frauen besser sein müssen als männliche Kollegen auf gleichen Positionen. Mit ihren dunkelbraunen kurzen Locken und ihrem offenen Lächeln wirkt die zierliche Frau weitaus jünger als Mitte 40. Früher hat sie viel getanzt, Ballett. Ihren täglichen Arbeitsweg legt sie mit dem Fahrrad zurück, zwölf Kilometer sind es insgesamt. „Ich muss meine Energie loswerden“, sagt sie. „Davon habe ich nämlich eine ganze Menge.“ Ab und zu kommt es vor, dass sie sich auf einem Rockkonzert austobt. „Da kann es mir passieren, dass ich mich in einem Pulk von tausend Kids wiederfinde. Damit habe ich überhaupt kein Problem“, sagt sie lachend.

Viel Zeit fürs Tanzengehen bleibt Charpentier allerdings nicht: Neben ihrer Forschung hat sie jüngst eine Firma mitbegründet. CRISPR Therapeutics will auf Basis der neuen Technologie Therapien für lebensbedrohliche genetische Erkrankungen entwickeln. „Ich möchte mein Baby noch eine Weile begleiten“, sagt Emmanuelle Charpentier. „Es geht momentan alles so schnell, dass ich kaum Zeit habe, das richtig zu realisieren.“

Maimona Id

Personalien

Mikroskopie-Pionier Stefan Hell erhält Kavli-Preis



Stefan Hell. Bild: Bernd Schuller/MPI für biophysikalische Chemie

Stefan Hell, Direktor des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie in Göttingen sowie Abteilungsleiter Optische Nanoskopie am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg, ist einer von drei Gewinnern des mit insgesamt einer Million Dollar dotierten Kavli-Preises für Nanowissenschaften 2014. Geehrt wird Hell, so die Jury, „für seine bahnbrechenden Entwicklungen, die zur Fluoreszenzmikroskopie mit Nanometerauflösung führten und neue Anwendungen in der Biologie eröffneten“. Mit der von Hell entwickelten STED-Mikroskopie, einem Verfahren mit Laserlicht, lassen sich biologische Strukturen im Nanometerbereich, etwa DNA-Stränge, zerstörungsfrei erkennen. Der Kavli-Preis wird jedes zweite Jahr in den Kategorien Astrophysik, Nanowissenschaften und Neurowissenschaften verliehen. Die diesjährigen Preise werden am 9. September durch den norwegischen König überreicht.

MDC-Vorstand Rosenthal vor Wechsel an Uni Jena

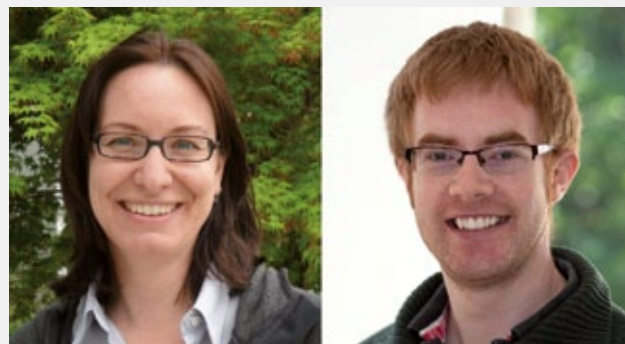
Walter Rosenthal, Vorsitzender des Stiftungsvorstands und Wissenschaftlicher Vorstand des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch, steht vor einem Wechsel an die Friedrich-Schiller-Universität Jena. Ende Mai wählte der Jenaer Universitätsrat ihn zum künftigen Präsidenten der FSU. Rosenthal steht seit 2009 an der Spitze des MDC.

Start-up-Preis für Laserphysiker

Eine Ausgründung von Wissenschaftlern des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY und des Helmholtz-Instituts Jena hat den mit 10.000 Euro dotierten Start-up-Preis der Kompetenznetze Optische Technologien gewonnen. Beim Finale in Frankfurt setzten sich Michael Schulz, Franz Tavella, Mark Prandolini und Robert

Riedel Ende Mai gegen 14 Mitbewerber durch. Ihre in Gründung befindliche Firma Class 5 Photonics setzt auf die Entwicklung neuartiger Hochleistungslaser für Wissenschaft und Industrie.

DKFZ-Wissenschaftler mit Kind-Philipp-Preis geehrt



Ina Oehme und David Jones. Bild: DKFZ

Zwei Wissenschaftler des Deutschen Krebsforschungszentrums haben im Mai den diesjährigen Forschungspreis der Kind-Philipp-Stiftung erhalten. Geehrt wurden Ina Oehme und David Jones für ihre Erforschung besonders schwer behandelbarer Tumore im Nervengewebe und im Gehirn von Kindern. Der mit 10.000 Euro dotierte Kind-Philipp-Preis zeichnet jährlich die beste wissenschaftliche Arbeit im deutschsprachigen Raum aus, die sich mit Krebs im Kindesalter auseinandersetzt.

HZB-Kommunikatoren gewinnen Online-Preis



Sibylle Grunze (Hoppenhaus & Grunze Medien), Ina Helms, Antonia Rötger (beide HZB). Bild: Laurin Schmid/depak

Mit dem Deutschen Preis für Onlinekommunikation in der Kategorie „Beste Microsite“ wurde Ende Mai das Projekt #HZBzlog des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie ausgezeichnet. Als „ein Fenster in die Welt der realen Forschung“ charakterisierte Kommunikationsleiterin Ina Helms das Projekt. Seit dem Start vor einem halben Jahr ziehen der erzählende Stil, die episodische Struktur sowie die lockere Sprache des „Zukunftslogbuchs“ täglich zwischen 500 und 1.000 Besucher an. ■

Justus Hartlieb

Die Brausetabletten-Rakete

Und so wird's gemacht:

Bei diesem Versuch wird gekleckert, du solltest die Rakete also im Freien starten lassen.

1. Nimm das leere Röhrchen und gib die Brausetablette hinein.
2. Nun muss es schnell gehen: Fülle etwas Wasser in das Röhrchen, verschließe es mit dem Deckel und stelle es „falsch herum“ auf den Deckel.
3. Beobachte mit etwas Abstand vom Experiment, was passiert.
4. Der Countdown läuft: 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1!

Wieso, weshalb, warum?

Die Brausetablette in dem Röhrchen reagiert mit dem Wasser. Es bildet sich ein Gas: Kohlenstoffdioxid. Doch Kohlenstoffdioxid benötigt sehr viel mehr Platz als das Wasser und die Luft im Inneren des Röhrchens. Da du das Röhrchen fest verschlossen hast, kann das Gas nicht entweichen. Der Druck im Inneren des Röhrchens steigt an, bis der Deckel dem Druck nicht mehr standhalten kann. Er wird mitsamt dem restlichen Wasser vom Kohlenstoffdioxid herausgeschleudert. Das ist der Antrieb deiner Rakete. Durch den Ausstoß des Wassers wird die Rakete gewissermaßen vom Boden abgedrückt und fliegt hoch.

Du brauchst:

- 1 leeres Röhrchen
Brausetabletten
mit Deckel
- 1 Brausetablette
(z.B. Vitamin-Tablette)
- etwas Wasser



Das Experiment stammt aus den Schülerlaboren des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), einer der größten Forschungseinrichtungen Europas. Dort werden Flugzeuge der Zukunft entwickelt und Piloten trainiert, Raketentriebwerke getestet und Bilder von fernen Planeten ausgewertet. Die Begeisterung für all diese faszinierenden Themen gibt das DLR gerne an junge Menschen weiter. Deshalb sind Schülerinnen und Schüler zu einem ganz besonderen Besuch eingeladen: In den zwölf DLR_School_Labs, die zum Netzwerk der Helmholtz-Schülerlabore gehören, können sie selbst experimentieren und alles rund um Luft- und Raumfahrt, Verkehrsforschung und Energie erfahren.



