



NR

46

15.11.
2012

- > Einzelgänger im All
- > Für die Supersymmetrie wird es enger
- > Blattläuse rekrutieren Wirtspflanzen als Müllabfuhr

TITELTHEMA: KLIMATOLOGIE

Das antarktische Paradox

Während es am Nordpol rapide schmilzt, dehnt sich das Meereis um die Antarktis aus. Langsam kommen Klimaforscher hinter das Rätsel dieses ungewöhnlichen Zuwachses.



NATIONALE KOHORTE
Deutschlands
Gesundheit



MOLEKULARBIOLOGIE
Die neuen Genom-
Schreibmaschinen



MEINUNG: GOENGINEERING
Die arktische
Todesspirale



Daniel Lingenhöhl

Redaktionsleiter Spektrum – Die Woche

E-Mail: lingenhoehl@spektrum.com

Twitter: [@lingenhoehl](https://twitter.com/lingenhoehl)

Liebe Leserinnen und Leser,
diese Woche war es eisig bei Spektrum der Wissenschaft. Denn wir haben einen Blick in die Kryosphäre geworfen – die Welt der Gletscher und des Meereises. Und diese sendet widersprüchliche Signale: Während das Meereis rund um die Arktis rapide schrumpft, dehnt es sich um den Südpol herum noch aus. Forscher sind dem »antarktischen Paradox« nun auf der Spur. Ganz anders sieht es dagegen in den südamerikanischen Anden aus, wo den Gletschern der Cordillera Blanca, der weißen Gebirgskette, ein »kalter Abschied« droht. Schon allein ästhetisch wäre dies ein herber Verlust. Und schließlich fordert der Ozeanphysiker Peter Wadhams den Einsatz von Geoengineering, um die »arktische Todesspirale« zu stoppen, den langfristigen Verlust der Eisdecke am Nordpol.

Gar nicht frostig grüßt

CHEFREDAKTEUR: Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)

REDAKTIONSLEITER: Dr. Daniel Lingenhöhl

REDAKTION: Antje Findekle, Jan Dönges, Dr. Jan Osterkamp

STÄNDIGE MITARBEITER: Lars Fischer, Maike Pollmann

ART DIRECTION: Karsten Kramarczik

LAYOUT: Marc Grove

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.),

Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Slevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,

Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

USt-Id-Nr. DE147514638

VERLAGSLEITER: Richard Zinken

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle, Thomas Bleck

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,

Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.com

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation GmbH (NaWik). Das NaWik ist ein Institut der Klaus Tschira Stiftung GmbH und des Karlsruher Instituts für Technologie. Wissenschaftlicher Direktor des NaWik ist Spektrum-Chefredakteur Dr. Carsten Könneker.

BEZUGSPREISE: Einzelausgabe € 1,00.

IM ABONNEMENT JÄHRLICH: € 39,95; ermäßigt € 30,00.

Alle Preise verstehen sich inkl. Umsatzsteuer.

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in Spektrum – Die Woche interessiert sind, schreiben Sie bitte eine Mail an anzeigen@spektrum.com

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2012 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

FOLGEN SIE UNS:



21

TITELTHEMA: KLIMATOLOGIE

Das antarktische Paradox

Am Südpol wächst das Meereis
der Erderwärmung zum Trotz



31

MOLEKULARBIOLOGIE

Die neuen Genom- Schreibmaschinen

Zwei neue Molekülklassen versprechen
punktgenaue Eingriffe ins Genom



26

NATIONALE KOHORTE

Deutschlands Gesundheit

Eine riesige Datensammlung
soll klären, wo hier zu Lande
Gesundheitsgefahren drohen



35

GLETSCHER DER ANDEN

Kalter Abschied

Gletscherschwund lässt Millionen
Südamerikaner um ihr Wasser fürchten –
und er bedroht sie auch direkt

aus
nature

02 EDITORIAL/IMPRESSUM

04 BILD DER WOCHE

Volkszählung im Meer

06 MEINUNG

»Die arktische Todesspirale«
von Peter Wadhams

43 REZENSION

Anna Frebel: Auf der Suche nach den
ältesten Sternen

45 NATURE JOBS

SPEKTROGRAMM

10 STANDARDMODELL

Für die Supersymmetrie
wird es enger

12 EXTRASOLARE PLANETEN

Einzelgänger im All

14 INSEKTENÖKOLOGIE

Blattläuse rekrutieren
Wirtspflanzen als
Müllabfuhr

17 NANOTECHNOLOGIE

Verdrilltes Nanogarn arbeitet
als Minimuskel

19 BIOTECHNOLOGIE

Natürliche Batterie im
Innenohr als Stromquelle

20 KLIMAWANDEL

Mehr Kohlendioxid in der
Thermosphäre



MEERESBIOLOGIE

Volkszählung im Meer



XAVIER TURON

ANEMONENFISCH VOR SEINEM ZUHAUSE

Bis zu 972 000 Arten könnten in den Weiten der Ozeane leben, schätzen Forscher nach einer neuen Bestandsaufnahme – die nur mehrzellige Spezies umfasst, das Heer der Bakterien und Archeen aber außen vor lässt. Nur ein knappes Viertel davon ist bislang beschrieben; im Ozean warten also noch viele Entdeckungen auf die Wissenschaftler. Die Gesamtsumme ermittelten sie anhand verschiedener Parameter. So floss in ihre Berechnungen die Rate an Neubeschreibungen während der letzten Jahrzehnte ebenso ein wie die Zahl an Arten pro Flächeneinheit, die dann auf das gesamte Ökosystem extrapoliert wurde.

Gleichzeitig mussten die Biologen aber auch erst einmal ihre ursprüngliche Liste eindampfen, denn sie bemerkten auch zahlreiche Artdopplungen: So manche entpuppten sich als ein und dieselbe Spezies, die von verschiedenen Wissenschaftlern unabhängig voneinander beschrieben worden waren und deshalb unterschiedliche Namen trugen. Insgesamt zählten die Beteiligten 170 000 Synonyme – allein bei den Walen fanden sich 1271 unterschiedliche Namen, die sich auf nur 87 Arten verteilten. Mit der einheitlichen Datenbasis lässt sich dies zukünftig vielleicht besser vermeiden.

Die größte Gruppe stellen mit Abstand die Tiere, gefolgt von den so genannten Stramenopilen, zu denen unter anderem die Braunalgen zählen. Unterrepräsentiert sind dagegen die Pflanzen mit 7600 und die Pilze mit nur 1050 Arten.

<

KLIMAWANDEL

Die arktische Todesspirale

Von Peter Wadhams

Das Meereis am Nordpol zieht sich dramatisch zurück. Womöglich helfen nur noch technische Eingriffe, um zu retten, was noch davon übrig ist, gibt der britische Ozeanforscher Peter Wadham zu bedenken.

Das erste Mal fuhr ich 1970 an Bord des kanadischen Forschungsschiffs »Hudson« in die Arktis. Es sollte damals als erstes Schiff komplett die amerikanischen Kontinente umfahren. Die »Hudson« wurde für Eisfahrten ausgerüstet – und das war gut so. Denn an den Küsten Alaskas und der Nordwestterritorien Kanadas reichte das Eis auch im Sommer fast bis an ans Festland, nur eine schmale Lücke von wenigen Meilen öffnete sich, die wir für unsere Untersuchungsfahrt nutzen konnten. Und manchmal reichte das Eis sogar bis direkt an die Ufer. Das betrachtete man damals als Normalfall.

Fährt heute ein Schiff im Sommer durch die Beringstraße in die Arktis, hat es einen Ozean mit offenem Wasser vor sich. Diese Freifläche reicht weit nach Norden, erst wenige Kilometer vor dem Pol beginnt das Eis. Aus dem All sieht die Spitze der Welt nun blau und nicht mehr weiß

aus. Doch die Dinge liegen noch schlimmer, als es den ersten Anschein hat: Was vom Meereis übrig bleibt, ist dünn – die durchschnittliche Eisdicke fiel zwischen 1976 und 1999 um 43 Prozent, wie Sonarmessungen belegen. Setzt sich dieser Trend fort, übertrifft die sommerliche Schmelze bis 2015 die Neubildungsrate von Eis im Winter: Dann wird die Arktis im Sommer komplett eisfrei.

Sobald das Dauereis endgültig verschwunden ist, machen es die physikalischen Effekte latenter Wärme sehr schwer, wenn nicht gar unmöglich, dass es in absehbarer Zeit wiederkehrt. Dann haben wir die Ära der arktischen »Todesspirale« erreicht, wie es Mark Serreze, der Direktor des National Snow and Ice Data Center der University of Colorado in Boulder nennt.

Sobald das Eis sich zu offenem Wasser wandelt, fällt die Albedo – also der Anteil an Sonnenstrahlung, der wieder ins All reflektiert wird – von 0,6 auf 0,1, was die Aufheizung der Arktis weiter beschleunigt.

Nach meinen Berechnungen sorgt der Verlust des letzten Sommereises dann für den gleichen globalen Erwärmungsschub wie die Kohlendioxidemissionen der letzten 25 Jahre. Da ein Drittel des Arktischen Ozeans aus flachen Schelfmeeren besteht, reicht die Aufheizung dort bis hinab zum Meeresboden, so dass der Permafrost vor der Küste auftauen kann. Dadurch gelangt Methan in die Atmosphäre, das eine viel größere Treibhauswirkung aufweist als das Kohlendioxid. Eine US-amerikanisch-russische Expedition unter Leitung von Igor Semiletov hat erst vor Kurzem mehr als 200 Stellen entlang der sibirischen Küste nachgewiesen, wo Methan aus dem Meeresboden ausgast. Atmosphärische Messungen zeigen ebenfalls, dass die Methankonzentrationen steigen – wohl vor allem wegen der arktischen Emissionen.

Um die Konsequenzen des Sommer-eiskollapses zu verhindern, müssen wir bereits verloren gegangene Eisflächen

Aug 26, 2012



EISSTAND

Dem Eis wird es zu heiß in der Arktis: Das Meereis rund um den Nordpol hat nun einen neuen absoluten Tiefststand erreicht, seit Glaziologen die Region mit Hilfe von Satelliten überwachen. Am 26. August – und damit zwei bis vier Wochen vor dem normalen saisonalen Ende des Tauwetters – bedeckt Gefrorenes weniger als 4 Millionen Quadratkilometer des Nordpolarmeers. Im Jahr 2007, dem bisherigen Rekordhalter, lag der Tiefpunkt dagegen bei 4,17 Millionen Quadratkilometern. Seit dem Beginn der modernen Aufzeichnungen 1979 ging die sommerliche Meereisfläche im Schnitt um mehr als 2,5 Millionen Quadratkilometer zurück (die gelbe Linie markiert die frühere durchschnittliche Ausdehnung): ein Schwund von zwölf Prozent pro Jahrzehnt. Und da vorerst kein Wetterumschwung in der Region zu erwarten ist, geht der Eisverlust noch mehrere Wochen lang weiter.

Neben wärmeren Sommern spielen auch andere Einflüsse eine gewichtige Rolle: So dezimierte dieses Jahr ein besonders ausdauernder **Supersturm** das Eis in Teilen der Region: Er zertrümmerte es unter anderem in kleine Teile und verstärkte dadurch die Schmelze. Der Eisschwund vor Ort erleichtert wiederum, dass sich derartige Orkane bilden – eine fatale Rückkopplung. Da in den letzten Jahren zudem weite Flächen des dickeren, mehrjährigen Eises verschwunden sind, bedeckt vielerorts nur noch dünneres einjähriges Gefrorenes das Meer: Es schwindet schneller und gibt dunkle Ozeanflächen frei, die Sonnenstrahlung nicht reflektieren, sondern teilweise speichern. Das wärmere Meerwasser nagt dann zusätzlich an den verbliebenen Eisflächen. Wegen dieser Zusammenhänge vermuten viele Polarforscher, dass die Arktis schon in wenigen Jahrzehnten im Sommer völlig eisfrei sein könnte.

wieder zurückbringen. Und das erfordert mehr als nur eine Verlangsamung der Erderwärmung: Wir müssen sie umkehren! Die Reduzierung der Kohlendioxidemissionen und der Ersatz fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energien – inklusive der Kernenergie! – gehören natürlich zu den vernünftigsten langfristigen Lösungsansätzen. Aber diese Maßnahmen retten das arktische Eis nicht. Die Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre werden vorerst weiterhin fast exponentiell steigen.

Es ist daher an der Zeit, einen radikaleren Ansatz zu betrachten: das Geoengineering. Darunter verstehe ich vor allem Techniken, mit denen die Oberflächentemperaturen künstlich gesenkt werden, indem man die Sonneneinstrahlung abblockt. Ein Ansatz umfasst das Aufhellen niedriger Wolken, indem man feine Wassertröpfchen versprüht. Andere ziehen die Injektion von Sulfaten durch hoch fliegende Ballons in die Atmosphäre in Betracht, wodurch sonnenlichtreflektierende Aerosole entstehen könnten. Und ein etwas einfacherer Vorschlag empfiehlt,

Dächer und Straßen weiß anzustreichen. All dies sind aber nur Zwischenlösungen: Sie müssen kontinuierlich angewendet werden, denn sobald die Maßnahmen enden, setzt sich die Erwärmung beschleunigt fort. Außerdem verhindern sie die direkten Folgen der steigenden Kohlendioxidkonzentrationen nicht, etwa die Versauerung der Meere. Aber sie verschaffen uns eine gewisse Atempause.

Existiert eine Geoengineering-Technologie, die den gesamten Planeten kühlen könnte? Besteht die Möglichkeit, nur die Arktis während des Sommers zu kühlen, damit das Eis nicht verschwindet? Welche Folgen haben das Wolkenaufhellen oder freigesetzte Chemikalien über der Arktis für Niederschlagsmuster oder auf die Temperaturen? Um das herauszufinden, müssen wir noch sehr viel forschen und modellieren. Und das muss sehr dringend geschehen. Wir können uns nicht mehr länger den Luxus erlauben, die Reduktion des Kohlendioxidausstoßes auf einen bequemen Sanktnimmerleinstag in der Zukunft zu verschieben. Wir müssen jetzt handeln. <

Spektrum.de – Themenseite



PUBLIC DOMAIN

Klimawandel

Die Spuren der globalen Erwärmung

STANDARDMODELL

Für die Supersymmetrie wird es enger

von Daniel Lingenhöhl

DETEKTOR ATLAS
Der Detektor ATLAS soll über Zerfallsereignisse ein Higgs-Boson nachweisen.

Erstmals gelang es Teilchenphysikern am Large Hadron Collider (LHC) des CERN in Genf den Zerfall eines Bs-Mesons zu beobachten – ein Ereignis, das laut dem Standardmodell extrem selten vorkommen soll: Nach den Berechnungen von Johannes Albrecht der LHCb-Detektorgruppe und seinen Kollegen passiert dies tatsächlich nur einmal pro 300 Millionen Zerfälle. Bs-Mesonen – »s« für Strangeness – sind Teilchen, die aus einem schweren Bottom-Anti-Quark und einem anderen Quark zusammengesetzt sind, in diesem Fall ein Strange-Quark (beziehungsweise aus den jeweiligen Antiteilchen). Der Grund für die extrem seltenen Ereignisse ist, dass der Zerfall im Standardmodell durch verschiedene Effekte unterdrückt wird.

Diese geringe Rate bestätigt also das Standardmodell, doch bringt es dessen Erweiterung in Kalamitäten: die Supersymmetrie, kurz Susy, die den Erklärungsansatz für die Dunkle Materie oder massereichere supersymmetrischen Partner der bisher bekannten Elementarteilchen liefern soll. Einige Forscher postulierten beispielsweise, dass die Dunkle Materie aus supersymmetrischen Partikeln besteht, die bislang aber

noch nie nachgewiesen werden konnten. Würden die Superteilchen tatsächlich existieren, müsste der Mesonen-Zerfall jedoch wesentlich häufiger stattfinden, als es das Standardmodell vorsieht – zumindest in den meisten Susy-Theorien. »Die Vorstellung der Supersymmetrie wird von diesen Messungen zwar noch nicht ausgeschlossen, aber doch stark eingeschränkt«, kommentierte entsprechend der Sprecher der LHCb-Experimente Pierluigi Campana in einer Stellungnahme. »Diese Messungen sind eine Art Testlauf des Standardmodells, das sich heute gesünder präsentiert als gestern.«

Zuvor schon hatten Resultate vom LHC wie auch vom Tevatron-Beschleuniger des Fermilabs im US-amerikanischen Batavia das Spektrum der möglichen Zerfallsraten so weit eingeeengt, dass sie sich mit den vom Standardmodell vorhergesagten problemlos vereinbaren lassen. Die daraus abgeleitete Obergrenze für die Zerfallsrate näherte sich kontinuierlich dem vom Standardmodell vorhergesagten Wert an und lag zuletzt nur noch um den Faktor 1,2 darüber. Diese Vorgaben waren allerdings noch nicht so aussagekräftig, dass sie Susy oder andere

Theorien gänzlich hätten ausschließen können. Dies ist mit den nun gemessenen Zerfällen zwar immer noch nicht möglich, denn auch manche Versionen der Supersymmetrie erlauben extrem niedrige Zerfallsraten, doch ihre Rückzugsräume werden enger. <

Spektrum.de – Themenseite



CERN

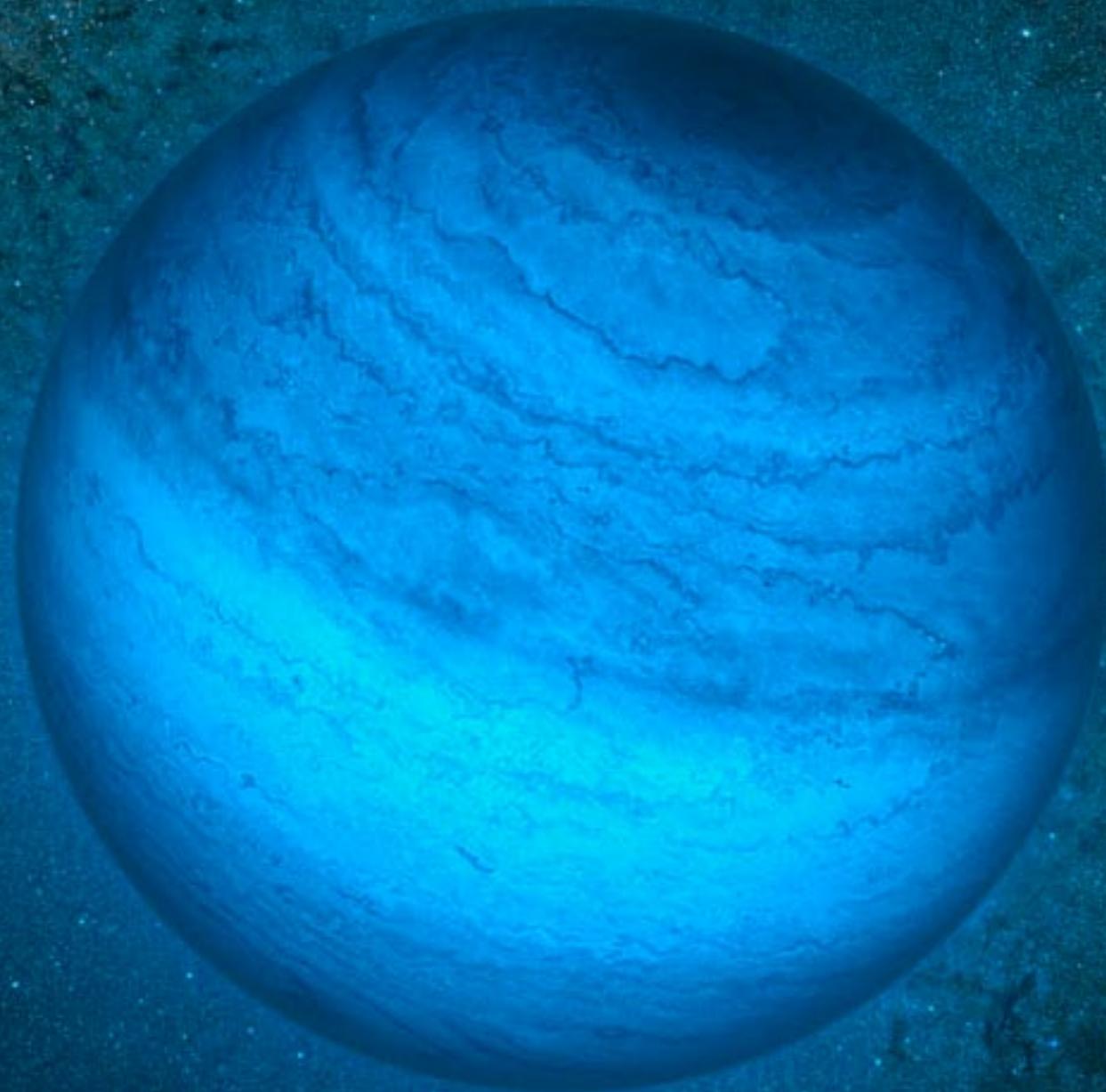
Teilchenphysik

Vom LHC und anderen Erkenntnisbeschleunigern

EXTRASOLARE PLANETEN

Einzelgänger im All

von Maike Pollmann



PLANET OHNE STERN

So könnte der Planet CFBSIR 2149 aussehen,
während er allein durch das All driftet.

Astronomen um Philippe Delorme vom **Institut für Planetologie und Astrophysik** in Grenoble haben vermutlich einen Planeten beobachtet, der ohne seinen Mutterstern durch das Weltall treibt. Damit wäre er zwar nicht der erste Kandidat, doch liegt CFBSIR2149 uns bisher am nächsten und gibt ohne störend hellen Begleiter viele seiner Eigenschaften preis. Die Studie liefert damit wichtige Anhaltspunkte für den Bau und Betrieb zukünftiger Teleskope – mit denen sich dann auch gebundene Exoplaneten direkt ablichten lassen.

Mit dem Canada-France-Hawaii Telescope in Hawaii erspähten die Astronomen etwa 100 Lichtjahre von der Erde entfernt einen kleinen Himmelskörper, der offenbar keinen Stern umkreist. Sie beobachteten das CFBSIR2149 getaufte Objekt über einen längeren Zeitraum und konnten so auf dessen Eigenbewegung am Himmel schließen. Es bewegt sich demnach mit etwa derselben Geschwindigkeit und in dieselbe Richtung durch das Weltall wie einige junge Sterne, die sich im benachbarten AB-Doradus-Bewegungshaufen versammeln. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 87 Prozent gehöre er zu dieser Sterngruppe, berichten die Forscher.

Damit dürfte auch CFBSIR2149 ein relativ junger Himmelskörper sein, vermutlich 50 bis 120 Millionen Jahre alt. Da er der Erde relativ nah ist und zudem kein heller Stern das von ihm ausgehende Infrarotlicht überdeckt, ließ sich seine Atmosphäre sehr präzise untersuchen. Dazu verglichen die Astronomen um Delorme das am Very Large Telescope in Chile aufgezeichnete Spektrum mit verschiedenen Atmosphärenmodellen. Anhand der kombinierten Ergebnisse schätzen die Forscher das Objekt auf vier bis sieben Jupitermassen und vermuten eine Oberflächentemperatur von etwa 430 Grad Celsius.

Gehört CFBSIR2149 allerdings nicht dem AB-Doradus-Bewegungshaufen an, könnte es sich an Stelle eines Planeten auch um einen kleinen Braunen Zwerg handeln. Diese Himmelskörper bringen mehr als 13 Jupitermassen auf die Waage, betreiben aber anders als Sterne keine Wasserstofffusion. »Weiter gehende Untersuchungen werden endgültig klären, ob CFBSIR2149 tatsächlich ein ungebundener Planet ist«, so Delorme.

Zwei Entstehungsszenarien wären für solche Planeten denkbar: Zum einen könnten sie ähnlich wie Sterne isoliert aus einer Gaswolke hervorgehen, zum anderen werden vielleicht einst gebundene Planeten aus



ESO

CFBSIR2149 IM INFRAROTLICHT

Diese Aufnahme mit dem New Technology Telescope in Chile zeigt den ungebundenen Planeten CFBSIR 2149 im Infrarotlicht (hellblauer Punkt in der Bildmitte). Methan und andere Moleküle in seiner Atmosphäre absorbieren viel Licht bei längeren Infrarotwellenlängen.

ihrem System geschleudert. In letzterem Fall würde man erwarten, dass in der Milchstraße unzählige ungebundene Planeten umhertreiben. Schließlich sollten masseärmere Planeten leichter aus ihrem System entkommen und zudem häufiger sein als massereiche. Tatsächlich haben Astronomen bereits

viele Kandidaten für solche Himmelskörper entdeckt, unter anderem durch ihre **Gravitationswirkung**. Doch alle Methoden haben ihre Schwächen. So ist bei einem Nachweis über die Schwerkraft nicht klar, ob die Objekte tatsächlich frei sind. Bei direkten Beobachtungen lässt sich die Masse der mut-

maßlichen Planeten dagegen nicht genau eingrenzen, solange nicht weitere Eigenschaften wie ihr Alter bekannt sind. Und so bleibt letztlich unklar, ob es sich tatsächlich um Planeten handelt. <

Astronomy & Astrophysics, im Druck

INSEKTENÖKOLOGIE

Blattläuse rekrutieren Wirtspflanzen als Müllabfuhr

von Jan Osterkamp

Auch einige Blattlausarten gehören zu den gallenbewohnenden Pflanzenschädlingen: Sie hausen, gut geschützt gegen Feinde oder widrige Umweltbedingungen, in einer Wohnkammer, die – ausgelöst durch den Lausbefall – aus dem Pflanzengewebe herangewachsen ist. Im Extremfall siedeln manche der Pflanzenschädlinge sogar zu tausenden monatelang in komplett verschlossenen Gallenhöhlen. Dies bringt allerdings logistische Schwierigkeiten und sanitäre Probleme mit sich. Denn wie entsorgt die Schmarotzergemeinschaft zum Beispiel

die ständig anfallenden Ausscheidungsprodukte? Auch hierfür, erkannte nun ein japanisches Entomologenteam, werden gezielt anatomische Systeme der Pflanze umgewidmet.

Die Forscher um **Takema Fukatsu** vom National Institute of Advanced Industrial Science and Technology im japanischen Tsukuba kommen zu ihrer Schlussfolgerung, nachdem sie sich die Architektur unterschiedlicher Blattlausgallen genauer angesehen haben. Wie alle Blattläuse saugen auch die in den Gallen lebenden Vertreter



MAYAKO KUTSUKAK

PFLANZENGALLE NACH BLATTLAUSBEFALL
Ein Befall mit Blattläusen der Art *Ceratovacuna nekoashi* induziert bananenstaudenähnliche Pflanzengallen. Im abgeschlossenen Inneren jeder »Banane« leben rund zwei Monate lang Hunderte von Blattläusen und tun sich am Pflanzensaft gütlich.

Pflanzensäfte mit hohem Zuckergehalt, um dann die überschüssigen Kohlenhydrate als mehr oder weniger wässrige »Honigtau«-Lösung in großen Mengen wieder auszuscheiden. Die Tiere ertrinken aber nicht in ihren Ausscheidungen, weil die Innenseite der Gallenwände stark Wasser absorbierend ar-

beitet und die Flüssigkeit anschließend über die Leitungssysteme der Pflanze abführt.

Zwei nur entfernt verwandte soziale Blattlausarten nutzen dabei sehr ähnlich arbeitende Kloakensysteme in Gallen, die sonst äußerlich sehr verschiedenartig gestaltet sind. Offenbar ist das Ableitungsprinzip also

mindestens zweimal unabhängig voneinander entwickelt worden, meinen die Forscher nach Untersuchungen der bananenstaudenähnlichen Gallen von *Ceratovacuna nekoashi* und der eher kugelartigen *Nipponaphis monzeni*-Gallen. In offenen Gallen lebende Vertreter wie *Tuberaphis styraci* müssen ihre

OFFENE UND GESCHLOSSENE GALLEN

Verschiedene Blattlausarten induzieren bei ihren Wirten sehr unterschiedliche Pflanzengallen: Ganz links etwa die kugelförmigen Gallen, die *Nipponaphis monzeni* hervorruft; daneben die korallenförmigen Gallen von *Tuberaphis styraci* und die Bananestaudengallen von *Ceratovacuna nekoashi* sowie *Ceratovacuna japonica*. Zwei Blattläuse – *T. styraci* und *C. japonica* – leben dabei in offenen Gallen: Löcher im Boden dienen als Gemeinschaftsabtritt, in den

spezielle Sanitärsoldaten der Blattlausgesellschaft die Honigtau-hinterlassenschaften entsorgen. In den ganz gegenüber der Umwelt abgeschlossenen Gallen von *N. monzeni* und *C. nekoashi* kann das nicht funktionieren. Hier verschwinden die wässrigen Ausscheidungen in einer eigens umgebauten schwammartigen Schicht, die dann in das Gefäßsystem der Pflanze ableitet. (Maßstab Balken: 1 Zentimeter)



MAYAKO KUTSUKAK

Honigtauabsonderungen dagegen aktiv selbst entsorgen: Dies geschieht durch spezielle Soldatennymphen, die den Kolonieabfall regelmäßig zu Löchern auf der Unterseite der Gallen bugsieren.

Noch sind nicht alle Details des Aufbaus der Wasser absorbierenden Innenseite geschlossener Gallen geklärt. Die Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass unter dem Einfluss der Blattläuse vor allem die Oberflächenstruktur der inneren Wände verändert wird, wobei ein schwammartiges, Wasser aufnehmendes Gewebe entsteht. Zudem fehlen die sonst auf den Deckzellschichten präsenten hydrophoben Wachse, die einem Flüssigkeitsaustausch im Wege stehen würden. Außerdem produzieren die im geschlossenen System lebenden Arten Ausscheidungen mit geringerem Zuckergehalt: Offenbar verstoffwechseln diese Blattlausspezialisten Saccharose aus der Pflanzensaftnahme effektiver, oder sie scheiden vermehrt Zuckerpolymerer statt einzelner Zuckermoleküle ab, spekulieren die Forscher. Beides würde das osmotischen Potenzial des Honigtaus senken und seinen Übertritt ins schwammartige Pflanzengewebe und damit die Entsor-

gung erleichtern. Ganz anders arbeiten die Blattläuse, die in offenen Gallen leben: Hier sind die Innenseiten sogar vermehrt mit Wachsschichten versehen, was offenbar die Honigtauentsorgung für die Blattlaus-Sanitärsoldaten einfacher macht. <

Nature Communications 10.1038/ncomms2187, 2012

Damit aus Neugier Wissen wird.



Für alle Wissbegierigen zwischen 10 und 14 Jahren, die nicht nur das »Was«, sondern auch das »Wie« und »Warum« interessiert, gibt es jetzt **Spektrum neo**. In jeder Ausgabe wird ein großes Thema behandelt.

In Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik in Kiel

www.spektrum-neo.de

NANOTECHNOLOGIE

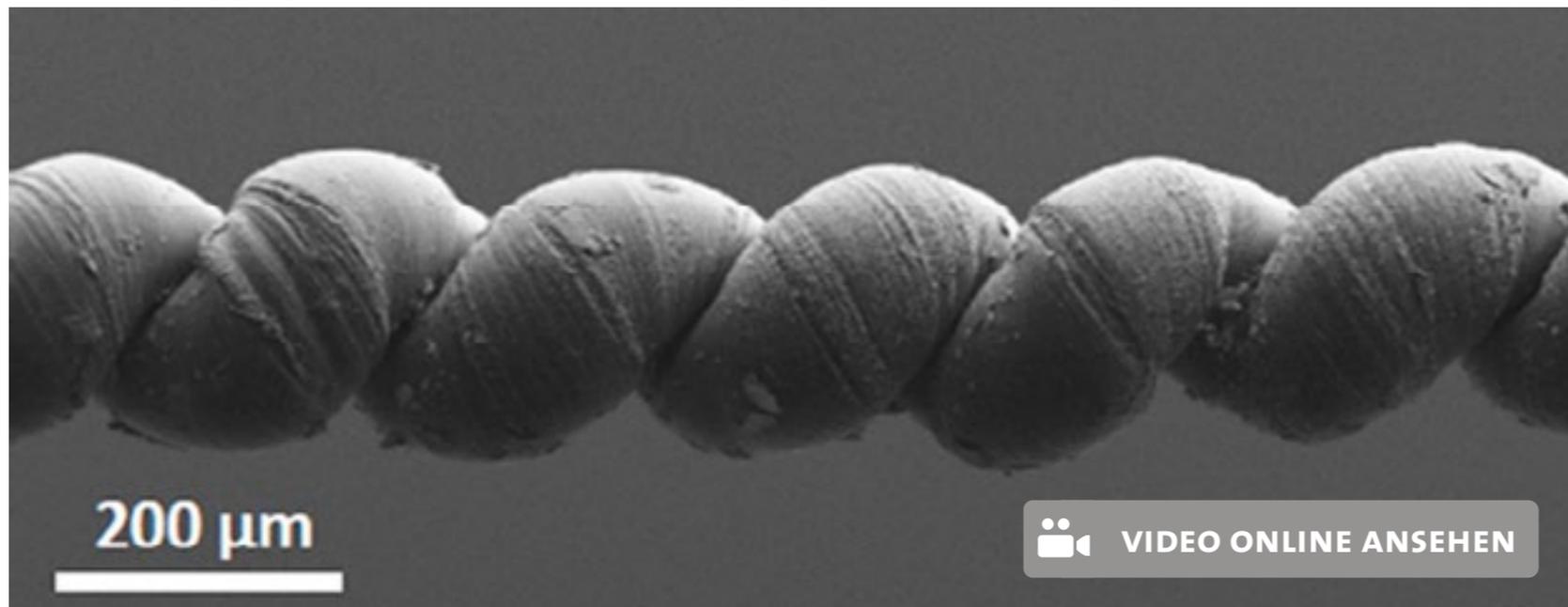
Verdrilltes Nanogarn arbeitet als Minimuskel

von Jan Osterkamp

Nanotechnologen haben ein praktisches Einsatzgebiet für ihr Lieblingsspielzeug gefunden, die Kohlenstoffnanoröhrchen: Sie entwickeln als Bündel zu einem Garn verdrillt enorme Zugkräfte, wenn sie sich verkürzen, und sind daher als Miniaturantriebe einsetzbar. Ein Kunstgriff erlaubte [Ray Baughman](#) von der University of Texas in

Dallas und seinen Kollegen nun, diese Nanomuskeln auch kontrolliert einzusetzen. Das Team glaubt sich seinem Fernziel nun einen Schritt näher: mit den Nanoröhrchen einen Universalantrieb von Robotern und Mikromotoren oder ein gezielt ansteuerbares Garn im Gewebe cleverer Kleidung zu entwickeln.

Die Nanoingenieure hatten schon früher Bündel von ineinander verdrillten Nanoröhrchen im Einsatz, sind dabei aber auf verschiedene Probleme gestoßen. Denn die Bündel verkürzen sich zwar automatisch, indem sie sich zunehmend verdrillen, und üben dann eine Zugkraft auf fest fixierte Lasten aus; dieser Prozess ist aber unter praktischen Ein-



GARN AUS VERDRILLTEN NANORÖHRCHEN
Nur leicht verdrillte Nanoröhrchen tendieren dazu, sich noch stärker zu verdrillen und dabei weiter zu verkürzen – hier ein maximal kontahiertes Exemplar aus dem Forscherlabor.

satzbedingungen nur schwer zu regulieren. Bisher musste man solche Nanogarne etwa – in abgeschlossenen Reaktionsräumen verpackt – mit aktiv zugepumpten Elektrolytkonzentrationen versorgen, um den Grad ihrer inneren Torsion zu steuern; ein vergleichsweise aufwändiger und langsamer Prozess. Dies entfällt nun beim Prinzip von Baughman und Kollegen: Die Forscher vermengehten ihr Nanogarn zunächst zusammen mit einem temperatursensitiven Wachs, das bei Raumtemperatur erstarrt, sich beim Erhitzen dann aber verflüssigt, dabei sein Volumen vergrößert und so die Helixstruktur des Garns verändert. Das sorgt nun dafür, dass das Material sich weiter verdrillt und verkürzt – mit einer Miniaturelektroheizung konnten die Forscher daher die Zugwirkung des Nanogarns einschalten. Abgekühlt zwingt das Wachs das Nanoknäuel dann wieder in die Ausgangsstellung.

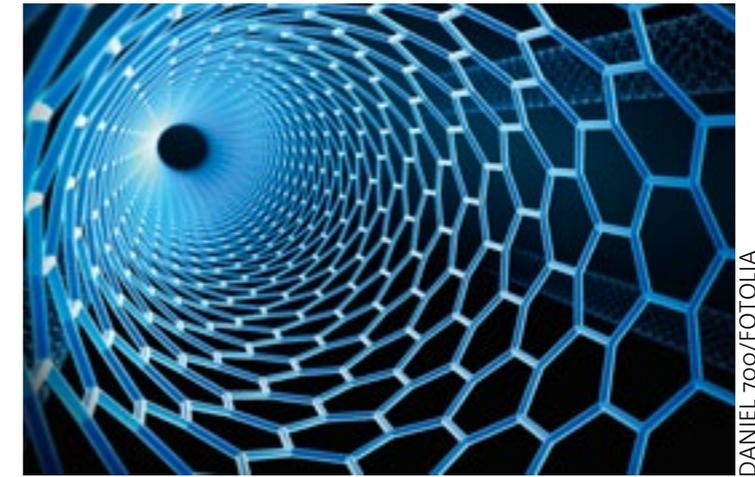
Das typischen Miniaturgarn des Teams hatte gerade einmal einen Durchmesser von 50 Mikrometer und konnte dabei mehrere Zentimeter lang sein. Dabei erwies es sich in verschiedenen Versuchen als extrem ro-

bust und langlebig: Den Forscher gelang es mit ihren Nanomotoren etwa einen Rotor mit 11 500 Umdrehungen in der Minute über längere Zeit anzutreiben oder ein Nanogarn 1200 Mal in der Minute um drei Prozent zu verkürzen und wieder auszudehnen, wobei es jedes Mal eine Last anhob. Das eingesetzte Wachs lässt sich zudem nicht nur durch Erhitzen, sondern auch durch Licht oder Chemikalien verflüssigen.

Die Nanogarn-Motoren von Baughman und Kollegen sind der praktischen Anwendungsreife als robuste Miniantriebe oder verlässliche Umweltsensoren näher als frühere Ansätze, kommentiert der Materialwissenschaftler Mark Schulz von der University of Cincinnati. Weitere Verbesserungen seien nun eher eine Aufgabe für Ingenieure: Sie müssten zum Beispiel den Herstellungsprozess der Nanoröhrchen perfektionieren, um etwa Verzweigungen zwischen einzelnen Röhrchen zu vermeiden, die üblicherweise zu Schwachstelle des Systems werden. <

Science 338, S. 928, 2012

Spektrum.de – Themenseite



DANIEL 700/FOTOLIA

Nanotechnologie
Schrumpfende Bauteile
und ihre Anwendung

BIOTECHNOLOGIE

Natürliche Batterie im Innenohr als Stromquelle

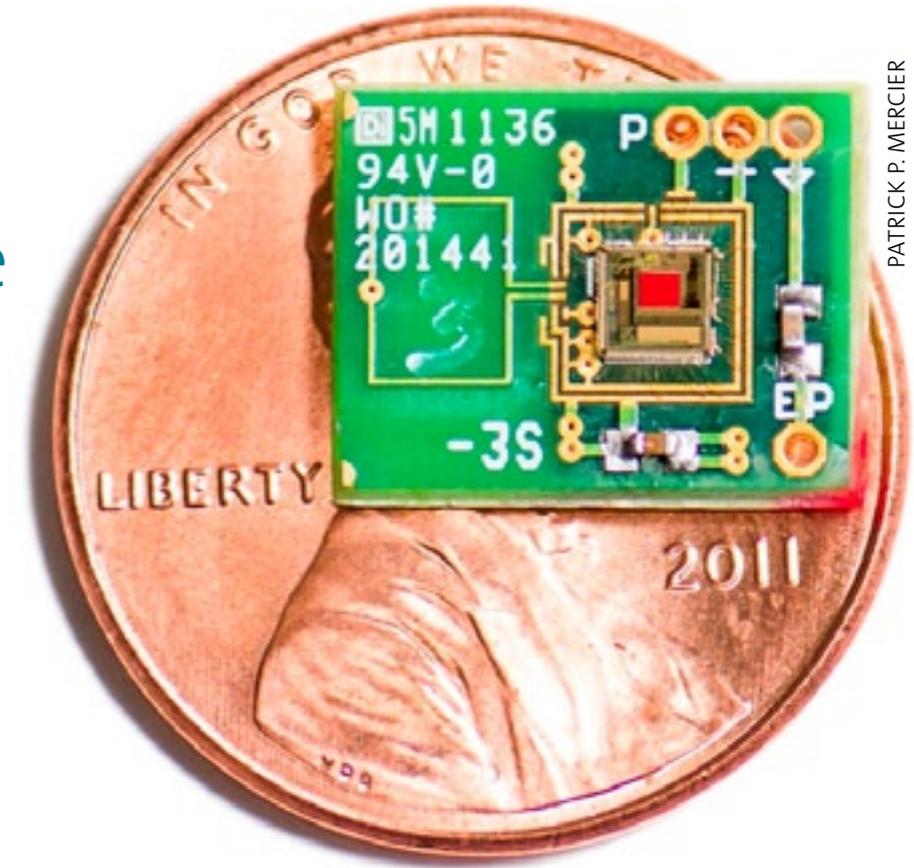
Kristin Schneeweiß

Die Cochlea (Hörschnecke) im Innenohr von Säugetieren enthält eine Energiequelle: Sie liefert ein elektrisches Potenzial, das zur Umwandlung der Vibrationen des Trommelfells in elektrochemische Signale benötigt wird. Einer Forschergruppe um [Konstantina Stankovic](#) des Massachusetts Institute of Technology in Cambridge gelang es nun, den natürlich produzierten Strom im Innenohr anzuzapfen und damit ein elektrisches Gerät anzutreiben.

Die biologische Batterie besteht aus einer flüssigkeitsgefüllten anatomischen Struktur, die nach dem Prinzip der Zellen ein elektrochemisches Potenzial aufbaut: Über eine Membran werden Natrium- und Kaliumionen mit Pumpen ungleich in zwei Reaktionsräume befördert, dabei entsteht eine elektrische Spannung. Dieses Potenzial konnten die

Forscher nun mit zwei implantierten Mikroelektroden anzapfen. Sie versorgten damit einen speziell hergestellten Elektronenchip außerhalb des Körpers. Ein elektrisches Gerät konnte somit mit einer schwachen Leistung von zirka einem Nanowatt über eine Dauer von etwa fünf Stunden mit Strom versorgt werden.

Den Gehörsinn der Versuchstiere – Meerschweinchen (*Cavia porcellus*) – beeinträchtigten die Elektroden nur leicht: Hörtests zeigten eine leichte Verschlechterung, die bei einer Frequenz in sehr sensiblen Gehörbereichen gemessen wurde. Offenbar lassen sich Verletzungen des Gewebes mit den noch recht großen Elektroden von zwei Mikrometern Durchmesser nicht völlig vermeiden, vermuten die Forscher. Noch dünnere Elektroden könnten schonender platziert



PATRICK P. MERCIER

werden, allerdings kann mit dickeren ein höheres elektrisches Potenzial abgegriffen und eine längere Stromversorgung gewährleistet werden.

Der Chip ist bereits klein genug, um in einem Hohlraum des Mittelohres implantiert zu werden. Mit Hilfe des Systems hoffen die Forscher eines Tages hörgeschädigten Menschen und Menschen mit Gleichgewichtsproblemen neue Möglichkeiten für Implantate anbieten zu können. <

Nature Biotechnology 10.1038/nbt.2394, 2012



KLIMAWANDEL

Mehr Kohlendioxid in der Thermosphäre

von Antje Findelee

PUBLIC DOMAIN

In der Diskussion um den Klimawandel ist Kohlendioxid als Treibhausgas bekannt, das der Erde einheizt. Seine Rolle in den oberen Atmosphärenschichten, der Thermosphäre, ist dagegen eine ganz andere: Hier wirken die Moleküle kühlend. Modelle hatten eine Zunahme der Gaskonzentrationen in der Thermosphäre vorhergesagt. Messdaten aus etwa 100 Kilometer Höhe zeigen nun jedoch, dass der Anstieg sogar unterschätzt wurde.

Messungen des Kohlendioxidgehalts der Thermosphäre sind rar, da Ballone und Flugzeuge diese Höhe nicht mehr erreichen. John Emmert vom Naval Research Laboratory und seine Kollegen werteten nun Satellitendaten

aus den Jahren 2004 bis 2012 aus. Sie analysierten dabei einen kombinierten CO_x -Wert für Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, da die Sonneneinstrahlung den Abbau von CO_2 zu CO auslöst. So konnten die Forscher Unsicherheiten durch Schwankungen in Abhängigkeit vom Sonnenzyklus und dem saisonalen Sonnenstand umgehen.

Den Ergebnissen zufolge stieg der Gehalt an CO_x im Mittel um 23,5 ppm pro Jahrzehnt. Das sind 10 ppm mehr, als Modellberechnungen ergeben haben. Die Forscher vermuten, dass Veränderungen in der atmosphärischen Zirkulation mehr Kohlendioxid in die höheren Atmosphärenschichten eintragen

und untermauern dies auch: Steigerten sie in einem Klimamodell die vertikale Durchmischung um 15 Prozent pro Jahrzehnt, entsprachen die Ergebnisse ihren Messwerten.

Die Zunahme an Kohlendioxid bewirkt in der Thermosphäre nicht nur eine Abkühlung, sondern verringert auch die Dichte in einer gegebenen Höhe. Dies wirkt sich nachhaltig auf die Bahn von Satelliten und Weltraumschrott aus, die dadurch eine geringere Zugkraft in Richtung Erde erfahren und so länger ohne Korrekturmaßnahmen in ihrer Umlaufbahn verbleiben können. <

Nature Geoscience 10.1038/NNGEO1626, 2012



KLIMATOLOGIE

Das antarktische Paradox

von Daniel Lingenhöhl

Während es am Nordpol rapide schmilzt, dehnt sich das Meereis um die Antarktis aus. Langsam kommen Klimaforscher hinter das Rätsel dieses ungewöhnlichen Zuwachses.

Wer sich an der Kryosphäre – der Welt des ewigen Eises – erfreut, für den lieferte der vergangene Sommer **eine**

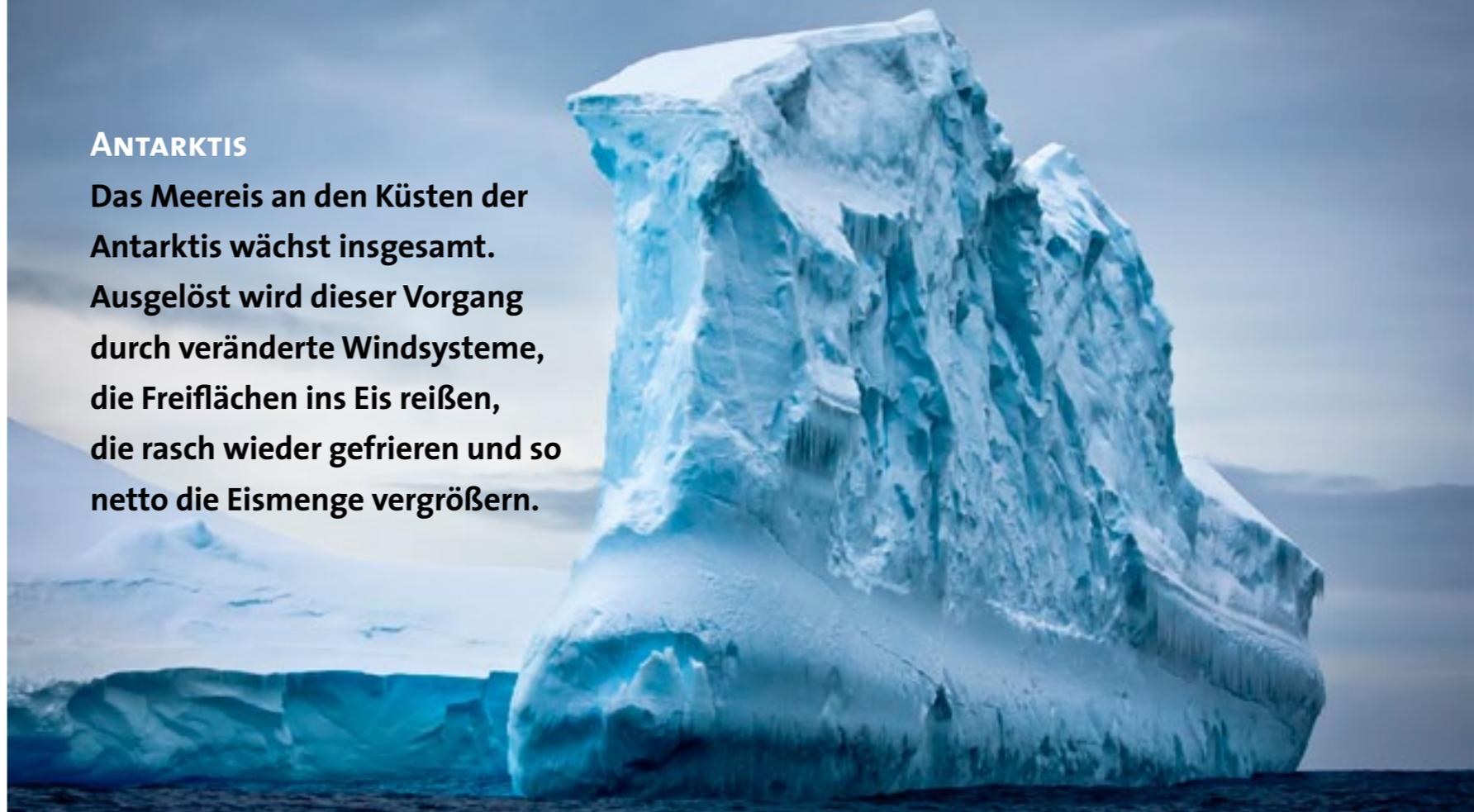
Hiobsbotschaft: Auf nur noch 3,41 Millionen Quadratkilometer Ausdehnung schrumpfte das arktische Meereis bis zum 16. September 2012 – ein historischer Tiefstand, seit Satelliten in den 1970er Jahren die Beobachtung des Nordpols begannen. Seit damals verschwanden pro Jahrzehnt etwa 12 Prozent der sommerlichen Eisdecke: ein Verlust von weit mehr als 2,5 Millionen Quadratkilometer. Der letzte Sommer setzte nur ein neues Ausrufezeichen, so **Claire Parkinson vom NASA Goddard Space Flight Center:** »Es ist definitiv ein weiterer Hinweis, dass das arktische Meer eis in den letzten Jahren viel anfälliger geworden ist und sich in einem langzeitigen Niedergang befindet.«

Während den Eisverlust im hohen Norden ein breites Medienecho begleitet, spielt sich weit gehend unbemerkt im Süden ein gegenläufiger Prozess ab. »In der Antarktis wächst das Meereis insgesamt«, erklärt Parkinson, schränkt aber ein: »Diese Zunahme hält aber nicht annähernd

ANTARKTIS

Das Meereis an den Küsten der Antarktis wächst insgesamt.

Ausgelöst wird dieser Vorgang durch veränderte Windsysteme, die Freiflächen ins Eis reißen, die rasch wieder gefrieren und so netto die Eismenge vergrößern.

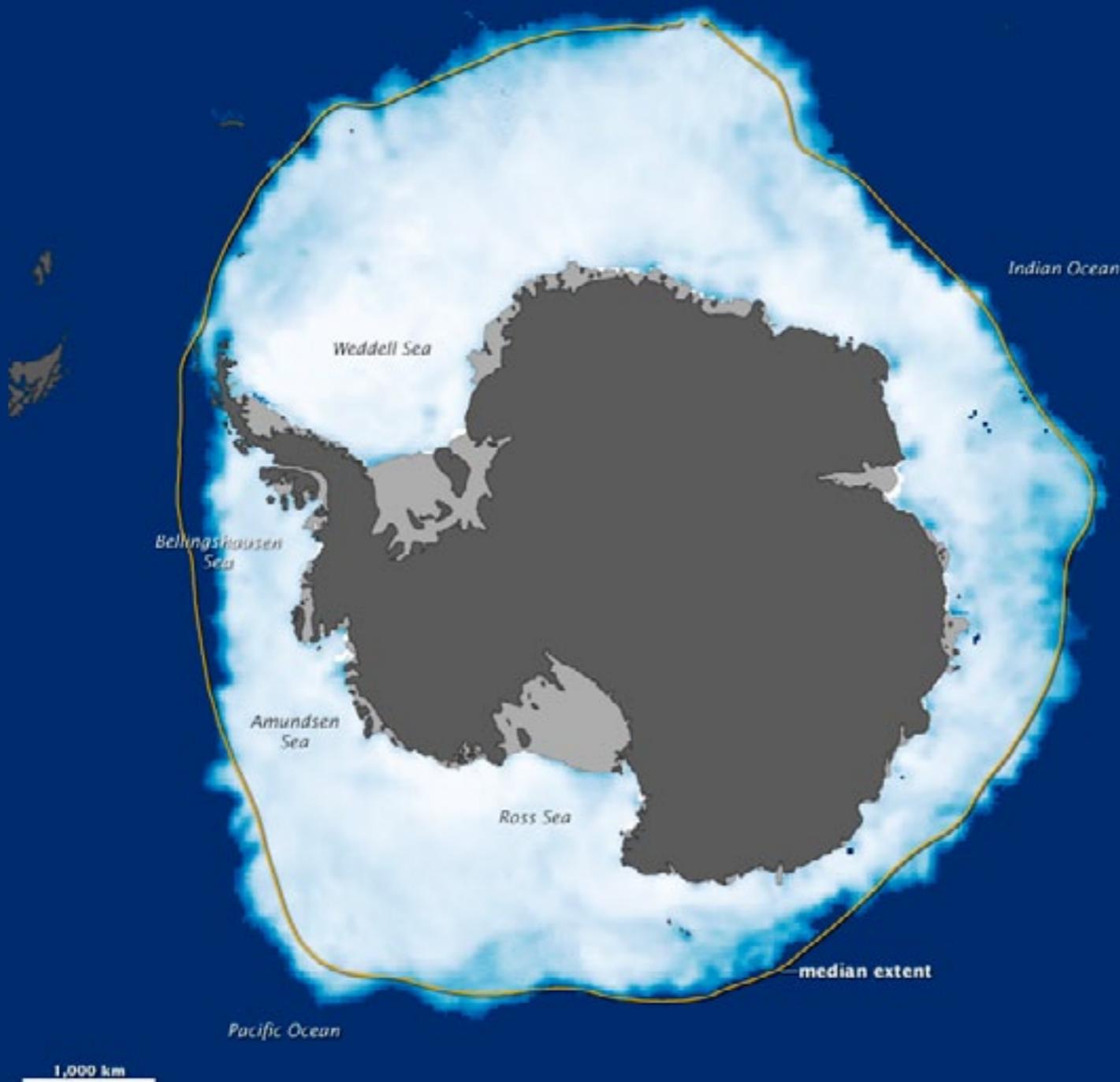


PUBLIC DOMAIN

Schritt mit dem Rückgang in der Arktis.« Um durchschnittlich 17 000 Quadratkilometer pro Jahr hat sich die weiße Decke demnach seit 1978 ausgedehnt, und der Trend scheint sich in den letzten Jahren um die Hälfte beschleunigt zu haben, deuten Zahlen der NASA an. Zudem hat sich auch das sommerliche Minimum um 650 000 Quadratkilometer vergrößert: Während der Tauperiode bleibt also ein größerer Teil des Meereises erhalten und bildet die Basis für den nächsten Winter – eine Tendenz, die der Entwicklung am Nordpol ebenfalls völlig entgegelläuft.

Die Rolle der Geografie

Steigende Temperaturen verantworten den größten Teil der arktischen Schwundsucht: Die Region zählt zu den Weltgegenden, die sich in den letzten Jahrzehnten überdurchschnittlich stark erwärmt haben. Eine wichtige Rolle spielt aber auch die besondere Lage der Arktis, die größtenteils ein von Landmassen umgebenes Meeresgebiet ist, während die Antarktis vor allem aus einer Landmasse besteht, die gänzlich von Ozeanen umschlossen ist. »Nordamerika, Grönland und Eurasien umzingeln den Arktischen Ozean und



NASA / EARTH OBSERVATORY / JESSE ALLEN (PUBLIC DOMAIN)

MITTLERE AUSDEHNUNG DES ANTARKTISCHEN MEEREISES

In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die von Eis bedeckte Fläche rund um die Antarktis vergrößert. Die gelbe Linie markiert den Durchschnitt früherer Zeiten. Die Entwicklung verlief aber nicht überall gleich: Großen Verlusten in der Bellingshausen-See stehen moderate Zuwächse in anderen Gebieten gegenüber. Insgesamt ergeben diese ein Plus in der Bilanz.

halten damit das Meereis größtenteils ‚gefangen‘. Es wächst und schrumpft damit zwar im Jahresrhythmus, größere Bestände überdauerten in der Vergangenheit aber auch und entwickelten sich zu dickerem, mehrjährigem Eis weiter«, beschreibt Parkinson die Situation. Verschwindet die Gefronnis jedoch, setzt ein sich selbst verstärkender Prozess ein: Während das weiße Eis den weitaus größten Teil des eingestrahelten Sonnenlichts wieder reflektiert, speichert es das frei gelegte dunkle Wasser als Wärmeenergie – die wiederum die Schmelze verstärkt. Verschiedene Strömungen exportieren zudem Eis in südlicher gelegene Gewässer, wo es taut.

»Rund um die Antarktis ist das Eis kontinuierlich in Bewegung«, sagt [Paul Holland vom British Antarctic Survey](#) in Cambridge, der zusammen mit Ron Kwok vom California Institute of Technology in Pasadena die Ursachen für den Eiszuwachs am Südpol erforscht [1]. Doch Winde und Ozeanströmungen umkreisen die Region und riegeln sie dadurch beinahe hermetisch vor den Klimaeinflüssen niedrigerer Breiten ab. Während des eisigen Winters gefrieren daher innerhalb dieses Zirkels weite Teile des Meeres – eine Fläche, die der dop-

ROBBEN AUF EIS

Das antarktische Meereis spielt eine wichtige Rolle im Ökosystem der südlichen Ozeane. Die Kinderstube des Krills liegt beispielsweise unter dem Eis: Der kleine Krebs dient vielen Vögeln und Meeressäugern als wichtigstes Grundnahrungsmittel.



pelten Fläche Europas entspricht -, sie tauen allerdings während des Sommers auch wieder größtenteils auf. Nur in den großen Schelfeisgebieten geschützter Buchten wie im Ross- oder Weddell-Meer bleibt das Eis über den Sommer hinweg, und diese Regionen sind es auch, die vorwiegend vom Zuwachs betroffen sind, wie die NASA-Satelliten zeigen: Allein auf das Ross-Schelfeis entfallen etwa 80 Prozent des Zugewinns.

Was verursacht den Zuwachs?

Lange wurde spekuliert, dass das südpolare Ozonloch das Wachstum auslöst: Mangels Ozon kühlt sich die Atmosphäre über der Antarktis ab, so dass mehr Eis im Winter gefrieren kann und weniger im Sommer verloren geht. So ließ das Ozonloch wirklich die regionalen Temperaturen sinken, dennoch spielen sie für die Massenbilanz kaum eine Rolle, schreiben zum Bei-

spiel [Michael Sigmund von der University of Toronto](#) und John Fyfe vom Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis in Victoria [2]. Vielmehr müsste die Massenbilanz dadurch sogar negativ werden: Rund um den Eiskontinent haben sich wegen des Ozonlochs in den letzten Jahrzehnten die zirkumpolaren Westwinde verstärkt und den Luftmassenaustausch mit höheren Breiten erschwert, wie Messungen belegen. Dadurch strömt weniger warme Luft aus höheren Breiten ein, was zur beobachteten Abkühlung beispielsweise der Ostantarktis beiträgt. Gleichzeitig müssten diese Stürme aber zumindest in den Berechnungen auch den so genannten [Ekman-Transport](#) antreiben, der als charakteristisches Strömungsmuster am Übergang zwischen Ozeanoberfläche und Atmosphäre das Meereis von den Küsten wegtreibt – ein Prozess, der vor allem im Südsommer

wirkt. Im Winter hingegen dürfte sich das Eis nicht mehr so weit äquatorwärts ausdehnen, da sich Kaltwasserregionen wegen des in Richtung der Antarktis verlagerten Westwindgürtel großflächig in Richtung des Pols zurückziehen sollten.

Diese Trends lassen sich mancherorts tatsächlich beobachten, bestätigt Paul Holland: »Starke Winde treiben das Meereis zum Teil vom Kontinent weg.« Das gilt etwa für die Antarktische Halbinsel, die als einzige Region der Antarktis die Strömungsgürtel von Wind und Ozean in Richtung Südamerika durchbricht und deren Schelfeisgebiete daher mittlerweile großflächig zerstört sind oder momentan zerfallen. Schuld sind daran zum Teil steigende Temperaturen, da sich die Halbinsel wegen ihrer exponierten Lage im Gegensatz zum restlichen Kontinent in den letzten Jahrzehnten ebenfalls stark erwärmt hat. Zum

anderen wirken die fast kontinuierlich über den antarktischen Wurmfortsatz wehenden Westwinde doppelt: Sie blasen die fragmentierten Eisschollen hinaus aufs Meer – und heizen ihnen auf der Ostseite der Halbinsel als warmer Föhn zusätzlich ein. Da sich diese Stürme in der jüngeren Vergangenheit verstärkt haben, hat sich auch ihre Wirkung potenziert. Hier zeige sich der gleiche Trend wie am Nordpol, so Holland: »Die Bellingshausen-See an der Westseite der Antarktischen Halbinsel geht das Eis fast so schnell verloren wie in der Arktis.« Doch das betreffe eben nicht alle Bereiche der Antarktis, schränkt Holland ein: »Seit 1992 hat sich die Drift verändert. Mancherorts hat sich der Eisexport verdoppelt, während er an anderer Stelle beträchtlich zurückgegangen ist.« Stürme an der Packeisgrenze und Fallwinde, die vom teilweise mehrere tausend Meter mächtigen Eisschild des Südkontinents hinunter zur See blasen, reißen beispielsweise am Ross-Schelfmeer die Eisdecke auseinander. Sie sorgen hier aber nicht für Verlust – im Gegenteil. »Dadurch entstehen zwar offene Flächen, die so genannten Polynjas, die mehrere tausend Quadratmeter groß sein können. Da das Wasser jedoch gleich wieder mit der extrem eisi-

gen Luft des antarktischen Winters in Berührung kommt, gefriert es auch rasch wieder«, beschreibt [Josefino Comiso vom NASA Goddard Space Flight Center](#), warum hier netto ein Zuwachs entsteht: »Solange die heftigen Stürme wehen, expandiert das Eis nach Norden.« Kurze Zeit nachdem das arktische Meereis sein trauriges Minimum für 2012 erreicht hatte, meldeten Satelliten einen neuen Beobachtungsrekord aus dem Süden: Mit knapp 19,4 Millionen Quadratkilometern verschwand eine knappe halbe Million Quadratmeter mehr unter der weißen Decke als im Schnitt der letzten 30 Jahre.

Kein Argument gegen die Erderwärmung

Dieser Prozess funktioniert aber nur in der nahezu hermetischen Isolation der Antarktis. Die Stärke der Fallwinde etwa wird über die Temperaturen gesteuert, die wegen des Ozonlochs gefallen sind und im zentralen Bereich des Kontinents nicht durch Zustrom wärmerer Luftmassen abgemildert werden. Die Arktis hingegen ist viel stärker in das globale Strömungssystem von Atmosphäre und Ozean eingebunden: Größere Eismengen verlassen beispielswei-

se auf verschiedensten Seewegen wie etwa dem Labradorstrom die Region und gehen verloren. Im Gegensatz zu den extremen Fallwinden der Antarktis, die sich ebenso im Winter entwickeln, treten das Packeis zerreißende Stürme im Nordpolarmeer vor allem im Sommer auf: Das freigesetzte Wasser friert unter den dann herrschenden Bedingungen nicht wieder zu.

Der antarktische Sonderfall stellt daher die globale Erwärmung nicht in Frage. Eine frühere NASA-Studie habe zudem gezeigt, dass sich das Meereis am Südpol zwar vermehrt, zwischen 2003 und 2008 wurde es aber auch dünner, so Parkinson: »Das Klima verändert sich eben nicht einheitlich. Manche Erdteile können aus der Reihe scheren, selbst wenn sich das System insgesamt erwärmt.« Vielleicht scheren größere Flächen der Antarktis zukünftig noch extremer aus der Reihe, denn auch hier vollziehen sich Rückkopplungseffekte – nur anderer Art: Das Eis dämmt das relativ warme Wasser gegen die kalte Luft ab, so dass es nicht mehr ausgleichend wirken kann. An der Oberfläche wird es also noch kälter. <

[1] Holland, P., Kwok, R.: Wind-driven trends in Antarctic sea-ice drift. In: Nature 10.1038/NNGEO1627, 2012



NATIONALE KOHORTE

Deutschlands Gesundheit

Frederike Buhse

Wie beeinflusst unser Lebensstil das Risiko für Krankheiten, was deutet schon früh auf eine spätere Erkrankung hin und wer hat ein besonders hohes Gefährdungspotenzial für bestimmte Volkskrankheiten? Die mit Abstand größte und umfangreichste Kohortenstudie Deutschlands, die Nationale Kohorte, soll helfen, solche Fragen zu klären – mit einer riesigen Datensammlung.

Rund 400 000 Menschen im Alter von 20 bis 69 Jahren werden ab dem nächsten Jahr ungewöhnliche Post bekommen: eine Einladung zur Teilnahme an einer Studie, der **Nationalen Kohorte**. Sie werden gebeten, sich in einem Studienzentrum untersuchen zu lassen. Zur Testbatterie gehören unter anderem Lungenfunktionstest, Blutdruckmessung, EKG, Untersuchung der Mundgesundheit, Test der Sinnesorgane und der körperlichen und geistigen Fitness. Sie sollen außerdem Blut-, Urin-, Stuhl- und Haarproben abgeben sowie zahlreiche Fragen zu Lebensweise und Lebensbedingungen beantworten, etwa ob sie rauchen, wie viel Alkohol sie trinken, wie es um ihre Arbeitssituation bestellt ist, wovon sie sich ernähren, ob sie Sport treiben, Krankheiten haben, welchen Bildungsabschluss sie haben und wie ihr soziales Umfeld aufgestellt ist – alles im Dienst der Wissenschaft. »Wir wollen besser verstehen, wie sich Krankheiten entwickeln und wie man ihnen vorbeugen kann«, fasst **Rudolf Kaaks** die Ziele dieser umfangreichen Langzeitkohortenstudie zusammen. Er ist Vorstandsmitglied des Vereins Nationale Kohorte und Leiter der

Abteilung Epidemiologie von Krebserkrankungen am Deutschen Krebsforschungszentrum.

Nach etwa vier Jahren wird sich das Prozedere in ähnlicher Weise wiederholen: Die gleichen Probanden werden wieder eingeladen, untersucht, befragt. Zwischendurch und später sollen sie zusätzlich in Fragebö-

»Wir haben zu wenig verschiedene Proben, um die Fragen, wie Genetik und andere Risikofaktoren miteinander interagieren, statistisch relevant zu beantworten«

(Karl-Heinz Jöckel)

gen Auskunft über ihre dann aktuelle Lebensweise und eventuelle Krankheiten geben. Was hat sich geändert, sind Krankheiten aufgetreten? Die Grundidee ist, von einer Zufallsstichprobe der Gesamtbevölkerung, bei der die meisten gesund sind, Daten zu erfassen, die Untersuchungs- und Befragungsdaten sowie die biologischen Proben pseudonymisiert zu speichern und danach zu sehen, wer Jahre später woran erkrankt und wer nicht. »Dann kann man

auf die Daten und Proben zurückgreifen, potenzielle Einflussfaktoren erkennen und sie vergleichen«, erklärt Kaaks.

Dabei geht es vor allem um die großen Volksmalaisen: Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes mellitus, Krebs, neurodegenerative und neuropsychiatrische Krankheiten – vor allem Demenz und Depression –,

Erkrankungen der Atemwege und Infektionskrankheiten. »Wir wollen die Entstehungsmechanismen dieser Krankheiten besser verstehen. Dann können wir auch besser davor schützen«, so Kaaks. »Seit Jahren gibt es die Debatten: Soll man weniger rotes Fleisch essen oder ist es wichtig, sich zu bewegen, viel Obst und Gemüse essen und so weiter. Offen ist: Welche Faktoren davon sind die wichtigsten?« Außerdem wollen Kaaks und seine Kollegen Model-



LABORUNTERSUCHUNG

le entwickeln, mit denen man besser abschätzen kann, wie groß das Risiko für ein Individuum ist, eine bestimmte Krankheit zu entwickeln. So könne man beispielsweise feststellen, wer häufiger zur Vorsorge gehen sollte und wer nicht. Und mit Hilfe der Kohorte wollen die Forscher auch Biomarker finden, die sich für die Früherkennung nutzen ließen. So können Wissenschaftler auf die Biobank zurückgreifen und beispielsweise bei Personen, die einen Pankreaskrebs gehabt haben, nachsehen, ob in

den Blutproben bereits ein prognostischer Marker vorhanden gewesen wäre.

Durchgeführt wird die Nationale Kohorte von 18 Studienzentren – Universitäten, Kliniken, Helmholtz-Zentren und Leibniz-Instituten –, die über ganz Deutschland verteilt sind. Das Projekt ist für die ersten zehn Jahre mit insgesamt 210 Millionen Euro finanziert, zwei Drittel davon kommen direkt vom Bund, der Rest aus dem Etat der Helmholtz-Gemeinschaft. Insgesamt soll die Studie 25 bis 35 Jahre laufen,

und für die Organisation wurde nun ein Verein gegründet, in dem alle Beteiligten Mitglied sind.

Prospektiv hat sich bewährt

Karl-Heinz Jöckel, Direktor am Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie am Universitätsklinikum Essen, ist der Vorsitzende des Vereins »Nationale Kohorte«. Wie die meisten beteiligten Wissenschaftler hat er bereits Erfahrung mit prospektiven Kohortenstudien. In den letzten zehn Jahren koordinierte er die [Heinz-Nixdorf-Recall-Studie](#), die sich auf die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen konzentriert hat. »Im Vergleich zu Studien, die erst ansetzen, wenn die Krankheit eingetreten ist, haben prospektive Kohortenstudien einen eindeutigen Vorteil: Ursache und Wirkung können nicht verwechselt werden. Wenn ich jetzt etwas tue, mache ich das unabhängig von einer zukünftigen Krankheit. Denn ich weiß ja noch nicht, dass ich erkranken werde«, erklärt er.

Die Erkenntnisse solcher Kohortenstudien können helfen, Gesundheitsrisiken zu vermeiden, aber auch, wenn der Schaden erst einmal eingetreten ist, durch ent-

sprechende medikamentöse Behandlung den Schaden zu begrenzen. So stammt beispielsweise die Erkenntnis, dass Bluthochdruck ein Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist, aus der Framingham-Herz-Studie, der »Mutter aller Kohorten«, wie sie Karl-Heinz Jöckel nennt. Vor der Studie waren sich die Experten noch nicht einig, ob man den Bluthochdruck, beispielsweise bei älteren Menschen, überhaupt behandeln sollte. »Das Ergebnis der Studie hat dann die Medizin revolutioniert«, macht Jöckel deutlich. Mittlerweile werden viele Bluthochdruckpatienten auch mit Medikamenten behandelt. »Aus klinischen Studien wissen wir, dass diese Bluthochdrucktherapie wirksam ist: Sie verhindert Herzinfarkte«, sagt der Experte. »Und wir wissen, dass auch durch die bessere Blutdrucktherapie die Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen seit vielen Jahren sinkt.«

Eine andere bekannte prospektive Studie, die britische Ärzte-Studie, konnte zum ersten Mal statistisch eindeutig belegen, dass Tabakrauchen ein wichtiger Risikofaktor für Lungenkrebs ist. Davor hatten einige Wissenschaftler den Zusammenhang zwar schon vermutet, allgemein gab es

aber noch keine eindeutige Erklärung für den Anstieg der Lungenkrebsfälle.

Größere Fallzahlen müssen her

Auch in Deutschland gab und gibt es bereits prospektive Kohortenstudien (zum Beispiel KORA, Heinz Nixdorf Recall Studie, SHIP). Tatsächlich ist sogar von fast allen vorangegangenen Studien mindestens jeweils ein Wissenschaftler auch an der Nationalen Kohorte beteiligt. Doch die bisherigen Untersuchungen haben sich im Gegensatz zum jetzigen Großprojekt häufig auf bestimmte Krankheiten beschränkt, alle waren regional begrenzt und hatten im Vergleich deutlich weniger Teilnehmer. Natürlich könne man mit den in diesen Kohorten bereits gesammelten Daten und Proben weiterhin Forschung betreiben und tue das auch, so Jöckel. Doch für manche Fragestellungen reichen die bisherigen Erhebungen nicht mehr aus. Auch die vorhandenen biologischen Proben werden langsam knapp.

Vor allem aber sind die bisherigen Fallzahlen für viele Fragestellungen zu klein. »Früher blendete man beispielsweise den Faktor Genetik weit gehend aus, da man noch nicht die nötige Technik hatte. Heute haben wir zwar schon einige Proben aus

früheren Studien für genetische Analysen verwendet, doch da stoßen wir schnell an eine Grenze: Wir haben zu wenig verschiedene Proben, um die Fragen, wie Genetik und andere Risikofaktoren miteinander interagieren, statistisch relevant zu beantworten«, erklärt Jöckel.

Zwar kann man in begrenztem Umfang auch die Daten von verschiedenen Kohortenstudien gemeinsam auswerten, die es insgesamt auf etwa 100 000 Teilnehmer bringen. Das ist jedoch nur in begrenztem Umfang möglich, da die Studien sich zwar aneinander orientiert haben, jedoch immer mit etwas anderen Designs gearbeitet haben. Die Nationale Kohorte soll hingegen doppelt so viele Menschen erfassen. Die Experten rechnen mit einer Teilnehmerquote von 50 Prozent, weshalb rund 400 000 Personen angeschrieben werden müssen. Zusätzlich wollen die Forscher auch noch international mit anderen laufenden Studien kooperieren, weshalb das Studiendesign extra an die internationalen Vergleiche angelehnt wurde.

Möglichst viel sammeln

Für die deutschlandweite Erhebung planen die Mitglieder außerdem deutlich tie-

fer gehende Untersuchungen, als in den meisten Studien national und international in diesem Umfang bisher gemacht wurden – eine Untergruppe der Teilnehmer soll sogar noch genauer untersucht werden, bis hin zur Magnetresonanztomografie des gesamten Körpers. »So etwas ist in einer so großen Studie weltweit einmalig«, sagt Kaaks. Beim Blick auf die Liste aller geplanten Untersuchungen und Befragungen gewinnt der Leser denn auch leicht den Eindruck, dass bei der Nationalen Kohorte vor allem eines gemacht wird: emsig gesammelt. Und zwar so viel wie möglich.

»Wir versuchen die Biobank mit den Proben möglichst divers aufzubauen, so dass sie in Zukunft für eine Vielzahl unterschiedlicher Fragestellungen nutzbar sein wird«, erklärt Kaaks. »Sowohl an den biologischen Proben als auch in gewissem Maß an den Daten aus den bildgebenden Verfahren können später viele verschiedene Vergleiche gemacht werden, die man heute noch gar nicht genau benennen kann.« Karl-Heinz Jöckel betont: »Wir machen keine Feld-, Wald- und Wiesen-sammlung. Dennoch: Am Ende so einer Studie, wenn sie 15 oder 20 Jahre gelaufen ist, könnte etwa der Verdacht auf-

kommen, dass ein Stoff eine bestimmte Krankheit mitverursacht. Und gleichzeitig ist bekannt, dass dieser Stoff bei einer Bedingung, etwa durch Rauchen, entsteht. Dann müssen sich die Forscher anhand der Studiendaten ansehen, ob diese Bedingung bei denen, die die Krankheit bekommen haben, häufiger war als bei denen, die nicht erkrankt sind.« Wenn man Glück hat, hat man diese Bedingung mit abgefragt. Insofern gibt es schon immer den unterschweligen Wunsch nach Sammeln von möglichst vielen Daten«, sagt Jöckel.

Trotzdem geschehe dies nicht ziellos. Die Fragen, die die Wissenschaftler mit der Studie stellen, werden entweder nach aktuellem Wissensstand üblicherweise bei solchen Studien gefragt – etwa nach dem Rauchverhalten. Oder es stehen ganz bestimmte Hypothesen dahinter, die zuvor mit vielen Experten erarbeitet worden sind. Im Prinzip ist das Sammeln der Daten der Nationalen Kohorte erst der erste Schritt. »Hier wird eine Forschungsinfrastruktur für die medizinische Forschung geschaffen«, erläutert Karl-Heinz Jöckel. »Die Auswertung, die Forschung mit den Daten, kommt erst danach.« <



SciLogs

Diskutieren Sie mit –
auf unserem Portal für
Wissenschaftsblogs!

Ein Projekt von Spektrum
der Wissenschaft in
Zusammenarbeit mit
nature

Jetzt auch
auf Englisch!

www.SciLogs.com
www.SciLogs.de

MOLEKULARBIOLOGIE

Die neuen Genom-Schreibmaschinen

von **Lars Fischer**

Gene ausschalten, um ihre Funktion zu erforschen – das ging zuverlässig bisher nur bei Mäusen. Techniken auf der Basis neuer Mechanismen zur sequenzgenauen DNA-Erkennung jedoch ermöglichen Gen-Knockouts nun bei fast allen Lebewesen.

Um Gene zu erforschen, muss man sie erst einmal zerstören – nahezu alles, was wir über die Funktion verschiedener Erbgutabschnitte wissen, haben Forscher herausgefunden, indem sie diese Gene ausgeschaltet und die Folgen untersucht haben. Grundlage dafür ist die Knock-out-Technik, für die Martin Evans, Mario Capecchi und Oliver Smithies 2007 den Nobelpreis erhielten. Doch Knock-outs haben einen erheblichen Nachteil: Die Methode funktioniert nur bei Mäusen. Bei anderen Organismen gibt es bisher kein allgemeines Verfahren, Gene gezielt auszuschalten – das macht diese Forschung, ob an Ratten, Krallenfröschen oder Lanzettfischen, zu einer kom-

plizierten und oft frustrierenden Angelegenheit.

Bisher jedenfalls. Denn seit Kurzem gibt es mit so genannten TALENs (Transcription Activator-like Effector Nucleases) und Zink-Finger-Nukleasen (ZFN) zwei Verfahren, die dieses Problem elegant lösen – und möglicherweise bald noch ganz andere Dinge ermöglichen. Beide verwenden Proteinkonstrukte mit speziellen Schneideproteinen, den Nukleasen, die den DNA-Strang an einer ausgewählten Stelle kapfen. Doch der eigentliche Trick liegt in der zweiten Komponente dieser Konstrukte – sie enthalten Proteinstrukturen, die so modifiziert werden können, dass sie beliebige DNA-Sequenzen spezifisch erkennen und binden.

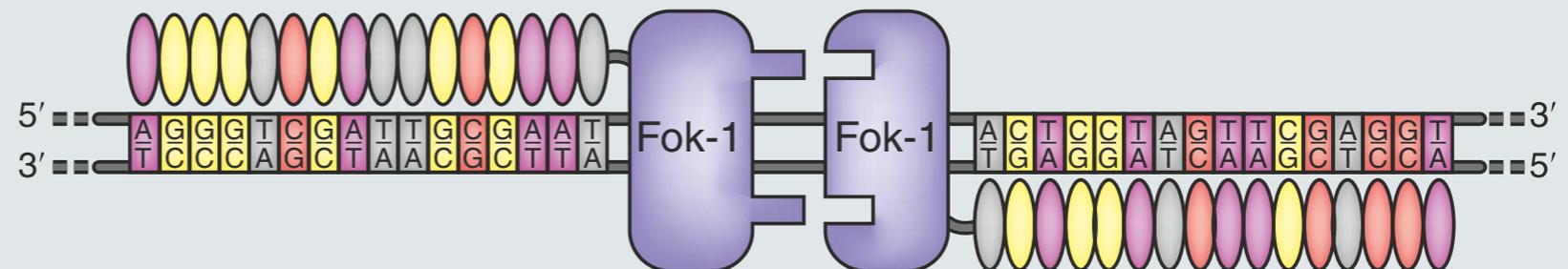
Modulare DNA-Erkennung

Dass Proteine spezifische DNA-Sequenzen binden können, ist nicht neu. Doch die bisher bekannten DNA-bindenden Proteine sind gleichsam ein bisschen zu spezifisch: Man kann sie nicht einfach an ein, zwei Stellen umbauen, damit sie an eine auch nur leicht veränderte Sequenz passen. Selbst für eine minimal andere Basenabfolge braucht man ein völlig neues Protein. Die neuen Konstrukte jedoch entstehen in Modulbauweise: Sie enthalten mehrere DNA-bindende Proteinteile, die gemeinsam die Bindungsstelle für eine bestimmte Sequenz bilden. Ist ein Teil der DNA etwas anders, tauscht man das zugehörige Modul aus, und es passt wieder. Im Fall der ZFN sind die Module die namensgebenden

WIE EIN TALEN ERBGUT SCHNEIDET

Das Prinzip von TALENs: Die TALE-Einheiten docken an spezifische DNA-Sequenzen an, die Nucleasen in der Mitte schneiden dann den Doppelstrang.

 VIDEO ONLINE ANSEHEN



Zinkfinger – schleifenförmige, von Zinkatomen im Zentrum zusammengehaltene Eiweißstrukturen, deren Ende in die Rille des DNA-Doppelstranges passt und dort abhängig von den berührten Basenpaaren unterschiedlich stark bindet. Ein einzelner Zinkfinger bindet je drei Basen, und ein ZFN enthält etwa drei bis sechs Finger. Theoretisch kann man den DNA-bindenden Teil einfach aus zur gewünschten Sequenz passenden Fingern zusammensetzen.

Teuer und lange Vorlaufzeiten

In der Praxis aber tauchen dabei noch erhebliche Schwierigkeiten auf, die dazu führen, dass ZFN zwar seit Mitte der 1990er Jahre erforscht werden, bislang aber gemessen an ihren Möglichkeiten nur geringe Bedeutung erlangt haben. Die einzelnen Zinkfinger beeinflussen sich gegenseitig, so dass ein Molekül, das theoretisch perfekt auf eine Sequenz zugeschnitten ist, in der Praxis oft nicht so ideal bindet, wie gewünscht. Diese Kontextabhängigkeit führt dazu, dass Zinkfinger-Nukleasen trotz des einfachen Bausatzprinzips aufwändig optimiert werden. Entsprechend teuer sind sie, entsprechend lange Vorlaufzeiten be-

nötigt ihr Einsatz. Dieser Nachteil fällt bei der zweiten Variante dieser Moleküle, den TALENs, weg. Im Gegensatz zu den Zinkfingern ist der DNA-bindende Teil dieser Moleküle eine sehr neue Entdeckung – deutsche Forscher entdeckten die TALENs erst vor wenigen Jahren im Genom von Bakterien der pflanzenpathogenen Gattung *Xanthomonas*.

Das Funktionsprinzip ähnelt denen der Zinkfinger – auch TALENs bestehen aus einer Abfolge von Modulen, die gemeinsam an eine Sequenz binden. Jedes Modul besteht aus der gleichen Aminosäuresequenz, die sich nur an einer ganz spezifischen Stelle von den anderen Varianten unterscheidet – der DNA-Bindungsstelle, die für genau ein Basenpaar spezifisch ist. Und anders als die Zinkfinger lassen sich diese vier Module tatsächlich beliebig miteinander kombinieren, ohne sich gegenseitig zu stören. Ein am grünen Tisch konstruierter TALEN-Abschnitt bindet genau an jene Sequenz, den seine Modulabfolge verspricht. Die so erhaltenen Konstrukte aus Erkennungssequenz und Enzym setzt man paarweise ein, so dass man am DNA-Strang das Konstrukt TALE-Nuklease-TALE erhält. Und die Nuklease zerschneidet das

Erbgut genau an der Stelle zwischen den beiden Erkennungssequenzen.

Einen festen Platz im Werkzeugkasten

Wegen dieser Vorteile haben sich die TALENs inzwischen einen festen Platz im Repertoire von Molekularbiologen erobert, die Genfunktionen in unterschiedlichen Organismen erforschen. »Mit den TALENs funktioniert das alles sogar sehr einfach«, erklärt [Alexander Knoll vom Karlsruhe Institute of Technology](#). Er forscht bei der Ackerschmalwand *Arabidopsis thaliana* an Genen, die bei der Reparatur von DNA-Schäden eine Rolle spielen. Um bei diesem Organismus Mutationen zu erzeugen, nutzte man bisher einen natürlichen Mechanismus aus: die Infektion mit dem pflanzenpathogenen Bakterium *Agrobacterium tumefaciens*. Das baut ein Stück seiner DNA an einer zufälligen Stelle in das pflanzliche Genom ein und kann so – wenn es der Zufall will – auch ein Gen inaktivieren. Einen solchen Zufallstreffer zu identifizieren ist sehr aufwändig, und manchmal gibt es auch keinen.

»Ich kann nun heraussuchen, wo genau ich die Mutation haben will, und zwar basengenau im Genom«, erklärt Knoll die Vorteile von TALENs gegenüber dem älteren

Verfahren, »Ich kann mir damit auch, wenn ich es denn will, echte Knock-out-Mutanten erzeugen, bei denen das gesamte Gen im Genom fehlt, sonst aber nichts zusätzlich im Genom ist.« Die dafür nötigen TALENs erzeugt er selbst – im Handel sind Genabschnitte erhältlich, die alle Komponenten des Werkzeugs kodieren, insbesondere auch die einzelnen TALEN-Module. Die Einzelteile setzt der Wissenschaftler zusammen und überträgt sie in das hilfreiche Agrobacterium tumefaciens, welches das TALEN-Gen in das Genom der Pflanze einbaut. Das geschieht nach wie vor zufällig, doch das entstehende Protein schneidet mit seinem Nukleaseteil exakt an der gewünschten Stelle im Genom.

Ist das geschehen, hilft die Zelle selbst dabei, die gewünschten Mutationen zu erzeugen. Den künstlich verursachten Doppelstrangbruch – ob er nun von einem TALEN oder einer ZFN ausging – repariert die Zelle sofort wieder, doch sie macht dabei oft Fehler, so dass das angepeilte Gen in vielen Fällen unbrauchbar wird. Auch hier ist also der Zufall im Spiel – aber die Trefferwahrscheinlichkeit ist unglaublich viel höher als bei herkömmlichen Methoden. Anschließend, erklärt Knoll, züchte er das TA-

LEN-Gen aus den Mutanten wieder heraus und erhalte eine Pflanze mit genau der gewünschten Mutation.

Das charmante an dem Verfahren ist, dass es, anders als der Knock-out von Genen, bei allen Organismen funktioniert. Die zelleigenen Mechanismen, die die Mutation erzeugen, sind ubiquitär. Bei Tieren muss man nicht einmal das TALEN-Gen in den Organismus einbauen, haben Forscher gezeigt. Es reicht aus, die fertigen Proteine in den Embryo oder das erwachsene Tier einzuschleusen. Inzwischen haben Wissenschaftler TALEN- und ZFN-erzeugte Mutationen in so unterschiedlichen Organismen wie Ratte und Zebrafisch publiziert, und auch an menschlichen Stammzellen wurde die Methode schon eingesetzt.

Für die Zukunft erhoffen sich Forscher sogar noch weitreichendere Anwendungen: Prinzipiell sollte es auch möglich sein, mit Hilfe von TALENs oder Zinkfinger-nukleasen gezielt neue Erbgutbestandteile ins Genom einzufügen. Dabei hilft die homologe Rekombination, ein weiterer Mechanismus zur Reparatur von DNA-Schäden. Trifft das abgetrennte DNA-Ende nämlich auf einen Einzelstrang, von dem ein Teil zum Doppelstrang passt, lagern sich der

neue Strang und der dazu passende Strang mit den zueinanderpassenden Sequenzen aneinander, und die neu hinzugekommene DNA dient als Vorlage für die Vervollständigung des durchtrennten Erbgutstrangs. Zusätzlich zu den Nukleasekonstrukten, so der Plan, soll in Zukunft ein DNA-Einzelstrang in die Zelle gebracht werden, dessen Enden zu den Sequenzen auf beiden Seiten der Lücke im Genom passen. Der Mittelteil enthält die Erbgutsequenz, die man an diesem Ort einfügen möchte. Dank homologer Rekombination schließt die Zelle dann nicht nur die Lücke im Genom, sondern baut dabei gleich auch noch das gewünschte Stück Fremderbgut ein: Im Genom schreiben wie mit einem Textverarbeitungsprogramm.

Das allerdings ist noch Zukunftsmusik. Bei allen Erfolgen müssen die Nukleasekonstrukte erst noch zeigen, wozu sie wirklich fähig sind und wozu eben nicht – ob sie zum Beispiel tatsächlich so präzise sind, wie es bisher den Anschein hat, oder ob sie das Genom nicht doch in seltenen Fällen an anderen als nur der gewünschten Stelle zerschneiden. Ihre Entwicklung steht erst am Anfang. Die Folgen der neuen Möglichkeiten sind aber schon jetzt kaum zu überblicken. <



GLETSCHER DER ANDEN

Kalter Abschied

Barbara Fraser

Auch in den Anden schmelzen die Gletscher auf Grund steigender Temperaturen dahin. Millionen Menschen sind jedoch von ihrem Wasserspeicher abhängig: für Trinkwasser, Bewässerung, Stromerzeugung. Was wird ihnen die Zukunft bringen?

Im Schatten eines Lehmhauses oberhalb des peruanischen Rio Santa blinzelt Jimmy Melgarejo zum Doppelgipfel des Huascarán, der vor einem wolkenlosen Himmel aufragt. »Der Schnee zieht sich immer weiter zurück«, erzählt Melgarejo. Der Bauer fürchtet um seine Existenz: »Die Schneegrenze wandert den Berg hoch, Stück um Stück. Wenn der Schnee weg ist, wird es kein Wasser mehr geben.«

Überall in den Anden äußern Menschen dieselbe Sorge angesichts der schwindenden Eisflächen in den Bergen auf Grund des Klimawandels. Jeder fürchtet eine Wasserknappheit, doch wie schnell sie kommen und wie schwer sie ausfallen wird, weiß niemand.

Ein internationales Forscherteam, gefördert von der National Science Foundation der USA, versucht nun, Antworten zu finden. Das Team aus Hydrologen, Geochemikern, Geografen und Historikern vor allem aus den USA und Kanada überwacht Schmelzwasser auf seinem Weg vom Glet-

scher bis ins Meer. Sie wollen Modelle entwickeln, die den Wasserabfluss vorhersagen und wie sich dies auf die Menschen entlang des Flusses auswirkt. Die rapiden Veränderungen in den Anden »erfordern

»Das ist bereits die Realität. Wir haben keine 50 Jahre, um uns darauf vorzubereiten«

(Michel Baraer)

eine neue Art von interdisziplinären, ganzheitlichen Studien«, erklärt der Geograf [Bryan Mark von der Ohio State University](#), einer der leitenden Wissenschaftler. »Wir versuchen, die traditionellen Grenzen zu überschreiten, indem wir Wasser und Menschen in unseren Untersuchungen verknüpfen.«

Peru vereint die weltweit größte Masse an tropischen Gletschern, die meisten davon liegen in der Cordillera Blanca, den »weißen Bergen«. Die schneebedeckte Gebirgskette weist die höchste Gletscherdich-

te der Tropen auf, erklärt Mathias Vuille, Klimatologe an der State University of New York in Albany. Sie bildet die majestätische Kulisse für den Rio Santa, der sich aus den eisigen Höhen 347&Kilometer bis zu seiner

Mündung bei Chimbote ins Tal schlängelt. Angesichts dieser riesigen Eismassen und der davon abhängigen hunderttausenden Menschen bietet sich das Flusstal an, die Folgen des Klimawandels zu untersuchen.

Diese bislang umfassendste Studie zu schmelzenden Gletschern und den Auswirkungen auf die Bevölkerung soll politische Entscheidungsträger mit den wichtigsten Informationen ausstatten, wie sich die Region an den Klimawandel anpassen kann, meint Mark. Das Projekt könne zudem die Modellbildung für andere Einzugsgebiete



BARBARA FRASER

in den Anden oder auch so ferne Regionen wie den Himalaja unterstützen.

Die bisherigen Ergebnisse ergeben ein eher gemischtes Bild. Trotz der Befürchtungen von Melgarejo und anderen Anwohnern wird der Rio Santa auch in der Trockenzeit nicht vollständig austrocknen. Der steigende Bedarf nach Wasser für Trinkwasser, Bewässerung und Stromerzeugung wird jedoch zu Konflikten um die schwindende – und zunehmend teurere –

Ressource führen. Viel Zeit für die Planung bleibt nicht: »Das ist bereits die Realität«, sagt Teammitglied Michel Baraer, Hydrologe an der Université du Québec. »Wir haben keine 50 Jahre, um uns darauf vorzubereiten.«

Heiße Zeiten

An einem frischen Morgen im Juli klettern Mark, Baraer und noch einige Kollegen einen blumengesäumten Pfad zur Lagu-

CORDILLERA BLANCA

Die Gletscher der Cordillera Blanca versorgen über ihr Schmelzwasser Millionen Menschen mit dem kostbaren Nass. Gerade für die trockenen Küstenregionen spielen die eisigen Speicher eine wichtige Rolle. Doch sie ziehen sich auf Grund des Klimawandels immer weiter zurück.

na Cuchillacocha hoch. Der See liegt rund 4600 Meter über dem Meeresspiegel, direkt am Fuß eines Gletschers des Pucaranra. In Schichten arbeiten sie dort Tag und Nacht: Alle halbe Stunde machen sie Infrarotaufnahmen vom Gletscher und dem umgebenden Gestein. Instrumente an und nahe der Gletscherzunge zeichnen die Sonneneinstrahlung, Windrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf. Die Forscher untersuchen, wie schnell sich das Eis, das Gestein und der See im Laufe des Tages erwärmen und in der Nacht abkühlen. Diese Daten wollen sie mit Fernerkundungsdaten von Satelliten und Flugzeugen korrelieren, die detailliert die Ausdehnung und die Dicke der Eisschicht wiedergeben. Daraus, so hoffen die Wissenschaftler, lässt sich ein Modell ent-

wickeln, wie schnell sich die Gletscher der Cordillera Blanca zurückziehen und welche Folgen daraus resultieren.

Frühere Studien haben gezeigt, dass die Gletscher seit 1970 um 20 bis 30 Prozent geschrumpft sind und dass sich die Rückzugsrate offenbar beschleunigt. Anto-

»Sie können sich Gletscher als hydrologisches Antidepressivum vorstellen: Sie mildern die Höhen und die Tiefen«

(Jeffrey McKenzie)

ine Rabatel von der Université Joseph Fourier de Grenoble und seine Kollegen vom L'Institut de recherche pour le développement (IRD) in Marseille berichten zudem, dass die Gletscherfläche in den tropischen Anden inzwischen um drei Prozent jährlich abnimmt [1].

Da sich die Niederschlagsmenge in den letzten Jahrzehnten kaum verändert hat, machen Wissenschaftler die steigenden Temperaturen für den Rückzug verantwortlich: Seit den 1970er Jahren hat sich

die Region um 0,1 Grad Celsius pro Jahrzehnt erwärmt, sagte der Glaziologe Rabatel auf einer Konferenz an der Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo im peruanischen Huaraz Anfang Juli.

Gletscher in über 5400 Metern Höhe – wie auf dem Huascarán, Perus höchstem

Berg – werden schrumpfen, aber überleben, meint Rabatel, da die Temperaturen dort auch weiterhin relativ niedrig bleiben. Die Gletscher in niedrigeren Höhen jedoch werden verschwinden. In den letzten Jahrzehnten haben diese Gletscher doppelt so viel Eismasse verloren wie die der höher gelegenen Regionen [1].

Schlechte Nachrichten für die Bevölkerung, denn diese Gletscher fungieren als Puffer, in denen die Niederschläge der Regenzeit gespeichert und während der bei-

nahe regenlosen Trockenzeit zwischen Juni und September langsam wieder abgegeben werden.

»Sie können sich Gletscher als hydrologisches Antidepressivum vorstellen«, erklärt Jeffrey McKenzie, Hydrogeologe an der McGill University in Montreal, »sie mildern Höhen und Tiefen«. Ohne die Gletscher müssen sich die Menschen flussabwärts an stärkere Schwankungen in der Wasserversorgung zwischen der Trocken- und Regenzeiten anpassen.

Von der Laguna Cuchillacocha ergießt sich der Quilcayhuanca durch ein breites, von Gletschern geschaffenes Tal. Etwa sieben Kilometer unterhalb des Seeausflusses misst McKenzie in einer Wasserprobe einen pH-Wert von 3,4. Im See liegt der Wert sogar noch niedriger, bei nur 2,8. Viele Gewässer der Cordillera Blanca sind natürlicherweise sauer erklärt McKenzie, der das Wechselspiel von Oberflächen- und Grundwasser erforscht: Die Gletscher bewegen sich über Gestein, das reich an Sulfat ist und das im Wasser gelöst die pH-Werte senkt.

McKenzie nimmt auch Proben, um den geochemischen »Fingerabdruck« des Was-

sers aufzunehmen – die Konzentrationen stabiler Isotope von Sauerstoff und Wasserstoff sowie verschiedener gelöster Ionen, die das Schmelzwasser aus dem Gesteinsuntergrund nahe der Gletscherzunge aufnimmt. Mit Hilfe dieser Daten konnten McKenzie und seine Kollegen berechnen, dass die Gletscher in der Trockenzeit etwa 30 Prozent zur Wasserführung des Rio Santa beitragen [2]. Der Rest stammt von Niederschlägen während der Regenzeit, die im Boden versickerten und nun per Grundwasser das Flussbett erreichen.

Das Ergebnis zeigt, dass auch ohne Gletscher in der Trockenzeit noch Wasser aus Regen und Schnee durch das Tal des Rio Santa strömen wird. Angesichts steigender Bevölkerungszahlen und sich ausdehnender Landwirtschaft kann ein Verlust von 30 Prozent im Wasserangebot jedoch durchaus Probleme verursachen, insbesondere in sehr trockenen Phasen, sagt Baraer. Und die Anwohner werden eventuell wenig Zeit für Anpassungsstrategien haben, denn Berechnungen von Baraer zufolge ist ein kritischer Punkt in Anlehnung an den »Peak Oil« als »Peak Water« benannt – bereits überschritten.

GOING WITH THE FLOW

Researchers are studying how the retreat of glaciers in the Cordillera Blanca is affecting people along the Santa River and its tributaries.

TAL DES RIO SANTA

Der Rio Santa entspringt hoch in der Cordillera Blanca und mündet nach 347 Kilometern bei Chimbote ins Meer. Forscher verfolgen nun den Weg des Wassers von den eisigen Quellen bis zum Ozean.



Wenn Gletscher ihren Rückzug starten, steigt in den Gletscherbächen und weiter flussabwärts zunächst wegen des Schmelzwassers die Wassermenge, bis der Nachschub abebbt. Nach diesem »Peak Water« geht die Schmelzwassermenge des Gletschers drastisch zurück. Baraer und seine Kollegen analysierten bis 1950 zurückreichende Aufzeichnungen der Abflussmengen von neun Nebenflüssen des Rio Santa. Die Daten lassen vermuten, dass sieben der neun Einzugsgebiete den »Peak Water« zwischen den 1960er und 1980er Jahren bereits überschritten haben [2].

Georg Kaser vom Forschungszentrum **Klima und Kryosphäre** der Universität Innsbruck warnt allerdings vor voreiligen Schlüssen: Solange nicht aus allen Einzugsgebieten Daten vorliegen, sei es schwer zu sagen, ob der »Peak Water« bereits für das gesamte Einzugsgebiet des Rio Santa überschritten sei. So seien die Eiskappen der Gipfel im Zentrum der Cordillera Blanca weitgehend intakt. Trotzdem sollten die Ergebnisse die Peruaner, insbesondere die politischen Entscheidungsträger, dazu bringen, sich endlich mit dem drohenden

Problem der Wasserknappheit auseinander zu setzen, sagt Kaser: »Wir sagen ihnen seit 20 Jahren, dass dieser Wendepunkt bevorsteht, aber niemand hat uns ernst genommen.«

Bislang hat Peru keinen umfassenden Plan, wie gegebenenfalls mit zukünftiger Wasserknappheit im Rio-Santa-Gebiet um-

»Wir sagen ihnen seit 20 Jahren, dass dieser Wendepunkt bevorsteht, aber niemand hat uns ernst genommen«

(Georg Kaser)

zugehen ist, erklärt Gabriel Quijandría, Vizepräsident für die strategische Entwicklung von natürlichen Ressourcen im Umweltministerium. »Die Art und Weise, wie das Wasser genutzt wird, muss entscheidend verbessert werden«, sagt er.

Kleine, während der Trockenzeit abgedeckte Speicherbecken »könnten einen Teil der Lösung darstellen, aber nicht allein«, sagt Quijandría. Manche Forscher fragen sich allerdings, wie in dem steilen und erd-

bebengefährdeten Gelände künstliche Reservoirs angelegt werden sollen.

Für McKenzie ist »Peak Water« nur ein Teilaspekt. Um die Abflussraten besser vorhersagen zu können, untersucht er, wie das Schmelzwasser und die Niederschläge den Rio Santa letztendlich erreichen. Die Talsohle unterhalb der Laguna Cuchillacochoa

ist ein Sumpfmoor, das wie ein Schwamm Schmelzwasser und Niederschläge aufsaugt und nur nach und nach in den Fluss einspeist. McKenzie hat herausgefunden, dass Grundwasser im Mittel 18 Monate benötigt, bis es das Feuchtgebiet durchquert hat.

In diesem Jahr hat McKenzie im Quilcayhuanca-Tal zwei Wochen lang kleine, bis zu sechs Meter tiefe Löcher in den Boden gebohrt, eine weitere Bohrung lag weiter

nördlich. Die Bohrkerne verrieten die Zusammensetzung des Untergrunds, und in manchen Löchern installierte McKenzie Piezometer – Instrumente, die mittels Druck den Wasserspiegel erfassen. Nächstes Jahr verfügt er so über Daten, mit denen er Fragen zu Fließrichtung, Wasserständen und Schwankungen im Grundwasserstrom beantworten kann, hofft McKenzie. Im nächsten Schritt wollen die Forscher dann anhand eines Grundwassermodells untersuchen, wie sich die Strömung in Richtung Fluss auf Grund der Schmelzwasserabnahme verändert. Sie sind auch besorgt über menschliche Aktivitäten in den höher gelegenen Tälern: Viehweiden und Torfabbau für Blumenerde können die Böden austrocknen und damit ihre Speicherkapazität beeinträchtigen, warnen die Forscher.

Extreme Fluten

Doch die Anwohner des Rio Santa befürchten nicht nur einen Wassermangel – auch das Gegenteil macht ihnen Sorgen: zu viel Wasser. Die Gletscherseen werden häufig von instabilen natürlichen Dämmen aufgestaut, die beispielsweise durch große, ins Wasser stürzende Eisbrocken brechen

können. Die Folge sind eisige Sturzfluten. Außerdem versteilt die Gletscherstirn beim Rückzug, wodurch die Lawinengefahr steigt. Sturzfluten und Lawinen haben im Tal des Rio Santa seit den 1940er Jahren mehr als 25 000 Menschenleben gefordert, sagt [Mark Carey, Umwelthistoriker an der University of Oregon](#) in Eugene, ein weiterer führender Wissenschaftler in dem Projekt. Huaraz, die größte Stadt des Tals, und viele kleinere Städte sind auf den Ablagerungen früherer Hochwasser und Bergrutsche gebaut, erklärt er. Und schätzt, dass eine Sturzflut heute zehntausende Menschen töten könnte.

Die staatliche Wasserbehörde Perus überwacht derzeit mehr als 35 Seen, sagt Jesús Gómez von der glaziologischen Abteilung. Die Behörde bereite sich auf die Risiken vor, indem sie den Wasserspiegel senke, sobald sie einen kritischen Punkt erreichen. Ein ungewöhnlich großer Eissturz könne aber trotzdem eine Sturzflut auslösen, und das Jahresbudget von 300 000 US-Dollar reicht nicht aus, um automatische Alarmsysteme zu installieren, die vor den herannahenden Fluten warnen könnten.

Das Schrumpfen der Gletscher könnte außerdem weitere Umweltprobleme verschärfen, insbesondere die Wasserverschmutzung. Unterhalb von Huaraz geht Mark vorsichtig an einem kleinen Bach entlang, der das ungeklärte Abwasser der Gemeinde Mancos in den Rio Santa leitet. In



BARBARA FRASER

PROBENAHME

Mit Abflussmengen entlang der Fließstrecke sowie weiteren Parametern versuchen Wissenschaftler zu ergründen, wie sich der Rückzug der Gletscher auf die Wasserführung des Flusses auswirkt.

der Nähe füllt der chilenische Doktorand Alfonso Fernández mit einer Spritze Wasserproben in kleine Plastikflaschen. Zurück im Labor, wird ein Team anhand der Isotopenzusammensetzung die Herkunft des Wassers und die Gehalte von Verunreinigungen wie Schwermetallen bestimmen.

Abwasser ist nicht das einzige Problem. Manche Zuflüsse des Rio Santa weisen von Natur aus hohe Schwermetallgehalte auf, während andere Arsen, Cadmium und Blei aus dem Abraum alter Minen auswaschen. Mit sinkenden Abflussmengen dürfte dank kaum veränderter Schmutzfracht bei geringerer Verdünnung die Wasserqualität weiter abnehmen, erklärt Mark.

Das könnte die Konkurrenz um sauberes Wasser verschärfen, sagt Adán Pajuelo, Präsident eines lokalen Bewässerungskomitees, während er auf einem Feld in Cruz de Mayo, einer Gemeinde nahe der von Gletscherwassers gespeisten Laguna Parón, geschickt Nelken schneidet. 2008 hatten lokale Bauern den amerikanischen Energieversorger Duke Energy beschuldigt, aus der Laguna Parón zu viel Wasser für ihr flussabwärts gelegenes Wasserkraftwerk abzuleiten. Die Bauern verbarrikadierten die Schleusen und drosselten so die Wasser-

menge, die Duke Energy dem See entnehmen konnte.

Die verfahrenere Situation hielt ungefähr zwei Jahre an, bis Regierungsvertreter einen Kompromiss aushandeln konnten. Inzwischen haben sich die Spannungen gelegt, aber Pajuelo fürchtet, dass in einem trockenen Jahr und auf Grund weiterer Beeinträchtigung durch den geplanten Bau einer Goldmine in Seenähe den Bauern nur noch wenig und zudem verschmutztes Wasser zur Bewässerung ihrer Felder bleibt.

Noch härter wird die Konkurrenz weiter flussabwärts, wo sich der Fluss durch ein enges Tal an dem Wasserkraftwerk vorbei in Richtung Pazifik drängt. In der Küstenwüste sprießen Spargel, Artischocken, Obstbäume und Zuckerrohr – meist für den Export – auf Böden, die vor zehn Jahren noch öde und unfruchtbar waren. Das [Chavimochic-Bewässerungsprojekt](#), das mit Wasser aus dem Rio Santa 75 000 Hektar Land erschlossen hat, wird bei der Fertigstellung mehr als die doppelte Fläche beanspruchen.

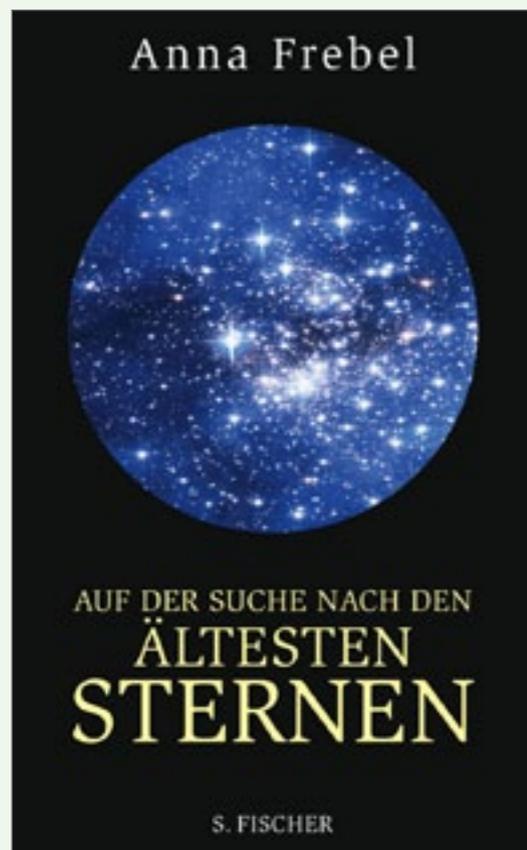
»Agrarprodukte für den Export verändern die Region gerade tiefgreifend«, sagt [Jeffrey Bury, Geograf an der University of California in Santa Cruz](#). Falls sich das

»Peak-Water«-Szenario bestätigen sollte, »wird das unausweichlichen Druck darauf ausüben, wofür das Wasser verwendet wird und wer es nutzen darf«, sagt er.

Alle Probleme des Rio Santa fließen an seiner Mündung an der peruanischen Küste zusammen. In den trockenen Julitagen sickert hier der einst mächtige Strom nur noch als dünnes Rinnsal durch Kiesel und Müll. Wenn die Nachfrage für Wasser weiter steigt, so Carey, könnte es sein, dass in wenigen Jahren in der Trockenzeit kein Wasser aus der Cordillera Blanca mehr das Meer erreicht. <

[1] Rabatel, A. et al.: Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. In: The Cryosphere Discussions 6, S. 2477-2536, 2012

[2] Baraer, M. et al.: Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. In: Journal of Glaciology 58, S. 134-150, 2012



Anna Frebel

Auf der Suche nach den ältesten Sternen

Fischer (S.), Frankfurt

ISBN: 3100215125

Dieses Buch können Sie im Science-Shop für 19,99 € (D), 20,60 € (A) kaufen.

http://www.science-shop.de/artikel/1158886?et_cid=15&et_lid=28

 Science-Shop.de

REZENSION

Die Sterne und ich

von Wolfgang Steinicke

Anna Frebel, Jahrgang 1980, erlebt den »amerikanischen Traum«: Aus den trüben Niederungen eines deutschen Physikstudiums reist sie zu einem astronomischen Praktikum ins sonige Australien, promoviert dort – ohne Diplom – und findet sich nach einigen »Fellowships« in den USA unvermittelt auf dem Professorenstuhl des renommierten Massachusetts Institute of Technology in Cambridge wieder. In Deutschland undenkbar, ist dies international offenbar möglich – vorausgesetzt man hat etwas Wichtiges entdeckt! Damit kein Neid aufkommt: Ja, Anna Frebel hat eine astronomisch bedeutsame Entdeckung gemacht, den ältesten bekannten Stern des Universums.

Darüber – und natürlich auch über ihre tolle Karriere – hat sie nun ein 350-seitiges Buch geschrieben und präsentiert es medienwirksam. Warum auch nicht? Es ist gut zu lesen, informativ und vermittelt sowohl astrophysikalische Fakten als auch viele sub-

jektive Eindrücke. Letztere kommen mir allerdings etwas zu selbstgefällig daher. Stolz präsentiert die attraktive Autorin ihre Wissenschaftspreise, Artikel in bedeutenden Fachzeitschriften, Konferenzteilnahmen, Bekanntschaften mit renommierten Astronomen und Astronominnen, Leitungsfunktionen oder häufige Reisen zu den Gipfeln der Welt mit ihren Megateleskopen. Was nach astronomischem Jetset klingt, kann man wohlwollend auch als natürlichen Ehrgeiz eines »jungen Shooting-Stars der Astrophysik« (Klappentext) bezeichnen. Der Leser erhält jedenfalls interessante Insiderinformationen zum internationalen Astronomiebetrieb, zum Beispiel wie es an großen Sternwarten zugeht (insbesondere in langen dunklen Nächten) oder was auf internationalen Fachtagungen passiert (bekanntermaßen ein Kabinett der Eitelkeiten). Man merkt der Autorin an, dass sie ihren umtriebigen Job genießt. Es gab allerdings auch diverse Rückschläge – bis hin zur Katastrophe, wie der Feuersturm über dem

australischen Mount-Stromlo-Observatorium im Jahre 2003, mit dem Anna Frebel gleich zu Anfang ihrer Karriere konfrontiert wurde.

Nun zum astronomischen Gegenstand des Buchs: den ältesten Sternen. Sie waren von Beginn an Frebels Objekte der Begierde – und sind es noch. Die Suche bezeichnet sie treffend als »stellare Archäologie«. Um die Physik dieser Objekte, deren Entstehung im frühen Kosmos und die Methoden ihrer Entdeckung und Beobachtung begreiflich zu machen, holt die Autorin weit aus. Ausführlich und kompetent führt sie den Leser an diese anspruchsvollen Inhalte heran. So ist die erste Hälfte des Buchs eine lesenswerte Darstellung der Astrophysik, unterlegt mit Ausflügen in die Geschichte dieser noch jungen Wissenschaft; ein Terrain auf dem Frebel allerdings nicht immer sicher wirkt. In einem Kapitel geht es um die »Entwicklung eines Sterns – von der Geburt bis zum Tod«. Zentraler Aspekt ist die Elementzusammensetzung, die sich durch nukleare Fusions- und Syntheseprozesse über die Sternenerationen stetig ändert. Dabei wird eines deutlich: die innige Beziehung der Autorin zum Periodensystem. Hier muss man sich gut auskennen, um den ältesten Ster-

nen auf die Spur zu kommen. Diese sind gekennzeichnet durch einen extrem geringen »Metallgehalt«, wobei Metalle alle Elemente schwerer als Helium meint. Eine weitere Voraussetzung ist instrumenteller Art: die Spektroskopie. Auch hier ist die junge Astronomie bereits eine ausgewiesene Expertin.

Wenn neben dem theoretisch-praktischen Wissen und einem enormen Fleiß noch eine Portion Glück dazukommt, bleibt der Erfolg nicht aus. Fleiß bedeutet hier, dass eine große Zahl von Sternen akribisch durchmustert werden muss, um letztlich die Nadel im Heuhaufen zu finden. Frebel hatte Glück, sie fand gleich mehrere metallarme Kandidaten, die überdies schwache Linien radioaktiver Elemente zeigten. Diese sind nur mit den größten Teleskopen zu sehen, an denen es jedoch schwer ist, kostbare Beobachtungszeit zu ergattern. Nach dem Vorbild der klassischen C14-Methode – aus dem Zerfall dieses radioaktiven Stoffs lässt sich etwa das Alter von Mumien bestimmen – gelang es schließlich, das »Geburtsjahr« des jeweiligen Sterns zu bestimmen. Beim Rekordhalter liegt es circa 13 Milliarden Jahre vor unserer Zeit beziehungsweise 700 Millionen Jahre nach dem Urknall. Er trägt

die kryptische Bezeichnung HE 1327-2326, liegt 4000 Lichtjahre entfernt im Sternbild Wasserschlange und besitzt einen Eisenanteil von einem Vierhunderttausendstel der Sonne. Und der Methusalem-Stern leuchtet immer noch!

»Auf der Suche nach den ältesten Sternen« hat eine klare Thematik, die fachlich fundiert und verständlich dargestellt wird. In der Mitte des Buchs gibt es einige Farbseiten, ansonsten lockern viele Schwarzweiß-Grafiken den Text auf (einige stammen aus Fachartikeln und sind nicht leicht zu »lesen«). Leider gibt es kein Sachverzeichnis, und die Literaturliste ist recht knapp ausgefallen. Der Leser benötigt zwar kein spezielles Vorwissen, eine gewisse Affinität zur Physik, Astronomie und Kosmologie kann aber nicht schaden. Anna Frebel präsentiert nicht nur faszinierende kosmische »Ausgrabungen« sondern auch – erkennbar amerikanisch geprägt – sich selbst gleich mit. Das Ergebnis ist auf jeden Fall lesenswert und dürfte vielen Spaß bereiten. <

Der Rezensent ist Physiker und Mitglied der Vereinigung der Sternfreunde e.V., deren Fachgruppe »Geschichte« er leitet. Er ist außerdem Herausgeber des »Praxishandbuch Deep-Sky«.



Jobs of the Week spektrum.naturejobs.com

Projektmanager / In Validation SAP after Go-Live, befristet 1 Jahr

Arbeitgeber: 1088 heipha Dr. Mueller GmbH

Standort Germany

Gültig bis 7. January 2013

Referenz Merck-1204496

Sie übernehmen als Projektmanager Validation SAP bei der Heipha GmbH in Eppelheim (Nähe Heidelberg) die folgenden herausfordernden Aufgaben:

Sie übernehmen die Funktion »Local head of Validation SAP after Go-Live« inkl. der organisatorischen und administrativen Aufgaben sowie der Zusammenarbeit mit den globalen Organisationen des Merck-SAP und der Validierung in Darmstadt.

Sie sind zuständig für die Betreuung der Key Users in den regulären SAP Change Verfahren (Releases) und den durch heipha initiierten Change Verfahren ... [\(mehr\)](#)

Informations- Kommunikations-techniker (m / w)

Arbeitgeber: Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ-Helmholtz Association

Standort Leipzig, Germany

Gültig bis 24. November 2012

Referenz Helmholtz-158/2012

Das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – gegründet 1991 – beschäftigt derzeit etwa 1.050 Mitarbeiter/innen, darunter etwa 800 Mitarbeiter/innen am Standort Leipzig.

In der Abteilung „Wissenschaftliche und Kaufmännische Datenverarbeitung (WKDV)“ ist am Standort Leipzig zum nächstmöglichen Termin eine Stelle für eine/n Informations – Kommunikations-techniker (m/w) (Kennziffer 158/2012) zu besetzen. Die Stelle ist zunächst auf zwei Jahre befristet. ... [\(mehr\)](#)

Referentin des Direktoriums-vorsitzenden (w/m)

Arbeitgeber : Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY – Helmholtz Association

Standort Germany

Gültig bis 29. November 2012

Referenz Helmholtz-EM214/2012

DESY:Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY ist eines der weltweit führenden Beschleunigerzentren zur Erforschung der Materie. DESY entwickelt, baut und nutzt Beschleuniger und Detektoren für die Forschung mit Photonen und die Teilchenphysik.

Ihre Aufgabe: Entscheidungsunterstützende Entlastung des Vorsitzenden des Direktoriums Inhaltliche Vor- und Nachbereitung von Terminen des Vorsitzenden des Direktoriums sowie die persönliche Begleitung zu ausgewählten Terminen Aufbereitung und Erstellung von Dokumenten und ... [\(mehr\)](#)



Jobs of the Week spektrum.naturejobs.com

Experienced Researcher (Mathematics, Computer Science)

Arbeitgeber: Evolute GmbH

Standort Wien, Austria

Gültig bis 30. November 2012

Referenz Euraxess-euraxess-
jobs-33806551

Are you interested in applications of Mathematics and Computer Science in NC machining and Architecture, and willing to work in a company located in Vienna, Austria? If this is the case and you have already got some experience, you should consider applying for the following position in the GEMS project (Geometric Manufacturing Solutions for Freeform Shapes). GEMS is an EU-funded IAPP (Industry-Academia Partnerships and Pathways) project involving Vienna University of Technology (Austria) and Technion (Israel) as academic partners, and three industrial partners ... [\(mehr\)](#)

1 Wiss. Mitarbeiter/in mit Dok. oder 2 Wiss. Mitarbeiter/innen ohne Dok.

Arbeitgeber: University of Natural Resources and Life Sciences

Standort Vienna, Austria

Gültig bis 30. November 2012

Referenz Kennzahl 98

Universität des Lebens – Verantwortung für Mensch und Natur: Wir arbeiten für eine nachhaltige, zukunftsfähige Nutzung und Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen. Am Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur, Institut für Verkehrsweisen kommt es zur Besetzung einer oder zweier Stellen als: 1 Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in mit Doktorat oder 2 Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen ohne Doktorat im Forschungs- und Lehrbetrieb ... [\(mehr\)](#)

Biologielaborant/in

Arbeitgeber: nemensis ag

Standort Aachen, Germany

Gültig bis 7. December 2012

Referenz 179-32

Im Auftrag unseres Kunden, ein biotechnologisches Unternehmen in der Deutschschweiz, suchen wir per sofort oder nach Vereinbarung eine/n Biologielaborant/in Ihre Aufgaben:

- > Mitarbeit in einem kleinen Team, welches für das Screening von therapeutischen Antikörperfragmenten und für die stetige Verbesserung der Screening Technologie verantwortlich ist
- > Kultivierung von tierischen und menschlichen Zellen
- > Durchführung von Immunassays sowie zellulären Assays ... [\(mehr\)](#)



Jobs of the Week spektrum.naturejobs.com

Technical Crop Expert (m / w)

Arbeitgeber: Syngenta

Standort Maintal, Germany

Gültig bis 6. January 2013

Syngenta ist ein weltweit führendes Unternehmen mit mehr als 26 000 Mitarbeitenden in über 90 Ländern mit einem gemeinsamen Ziel: Bringing plant potential to life. Durch erstklassige Forschung, unsere globale Präsenz und die enge Zusammenarbeit mit unseren Kunden helfen wir, die Ernteerträge und die landwirtschaftliche Produktivität zu steigern und tragen dazu bei, die Umwelt zu schützen sowie die Gesundheit und Lebensqualität zu verbessern.

Teilen Sie unsere Leidenschaft für Pflanzen? Sind Sie innovativ, dynamisch, arbeiten selbstständig und wollen gemeinsam mit uns unsere Ziele erreichen? Wir suchen zum nächstmöglichen Eintrittstermin für unsere Zentrale in Maintal einen... [\(mehr\)](#)

Verkaufsleitung Spektrum Stellenmarkt

Thomas Fiebig

Tel.: +44 (0) 207 843 4932

Fax: +44 (0) 207 843 4996

Email: spektrum@nature.com

Jetzt jeden Donnerstag

Profitieren Sie von den Vorteilen eines Abonnements:

- > 52 x im Jahr mehr als 30 Seiten News, Kommentare, Analysen und Bilder aus der Forschung
- > Abonnenten erhalten Zugang auf das Archiv von *Spektrum – Die Woche* und können auf die Inhalte von 13 Onlinelexika zugreifen
- > nur 0,77 € pro Ausgabe*
- > das Abo ist jederzeit kündbar



Lassen Sie sich keine Ausgabe entgehen:
www.spektrum.de/diewocheabo

*Jahrespreis € 39,90; ermäßigt € 30,- (für Schüler, Studenten und Abonnenten, die eine andere Publikation des Verlags Spektrum der Wissenschaft beziehen)