

MIKROBIOLOGIE

# Entscheidendes Bindeglied in der Evolution des Lebens

In der Tiefsee entdeckte Lokiarchaeen zeigen erstaunliche Ähnlichkeiten zu komplexen Zellen. Sie geben neue Einblicke in die Evolution von Eukaryoten, zu denen auch wir Menschen zählen.

VON NICOLE PASCHEK

**B**akterien, Archaeen und Eukaryoten – in diese drei Domänen teilt man traditionell das Leben auf der Erde ein. Eukaryoten sind Ein- und Vielzeller mit komplex aufgebauten Zellen. Fast alle mehrzelligen Organismen wie Pflanzen, Pilze und Tiere zählen dazu. Von den Prokaryoten – also Bakterien und Archaeen – unterscheiden sie sich durch ihren »echten« Zellkern und andere Zellorganellen wie die Mitochondrien, die »Kraftwerke der Zelle«. Im Gegensatz dazu sind die Prokaryoten relativ simpel gebaut und meist einzellig. Sie besitzen keine komplexen Organellen und keinen Zellkern, so dass ihr Genom frei in ihrem Inneren schwimmt.

Laut der so genannten Endosymbiontentheorie gingen eukaryotische Zellen aus einer Symbiose zwischen zwei Prokaryoten hervor. Im Lauf der Evolution nahm demnach eine Wirtszelle ein so genanntes Alphaproteobakterium auf, welches fortan in der Zelle als Mitochondrium weiterlebte. Das erklärt auch, wie so diese Zellorganellen ihr eigenes Genom, die mitochondriale DNA, besitzen.

Jedoch ist bisher noch nicht bekannt, wie jene Zelle aussah, die sich den Vor-

läufer des Mitochondriums einverleibte. Man vermutet, dass sie entweder ein gemeinsamer Vorfahre mit den Archaeen war oder dass jene Vorläuferzelle der Eukaryoten selbst zu den Archaeen gehörte. Um das zu klären, müssten Forscher Zwischenstufen finden, die den Übergang widerspiegeln.

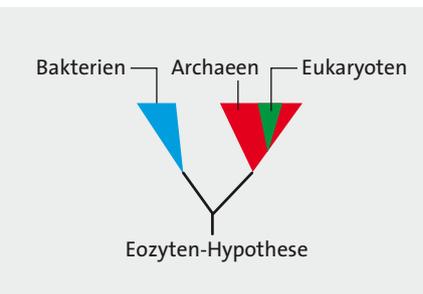
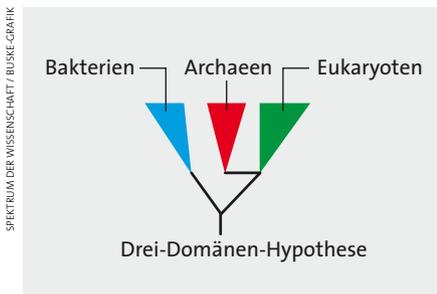
## Überraschender Fund: Völlig neue Organismen in der Tiefsee

Solch eine Zwischenstufe entdeckte nun Thijs Ettema von der Universität Uppsala in Schweden zusammen mit seinen Kollegen der Universitäten Bergen (Norwegen), Uppsala und Wien (*Nature* 10.1038/nature14447, 2015). In einer Bodenprobe aus 3283 Meter Tiefe des mittelatlantischen Ozeans, zwischen Grönland und Norwegen, spürten sie völlig neue Archaeen-Arten auf. Ihr Name war schnell gefunden: Lokiarchaeen – nach der Fundstelle, 15 km nördlich von »Loki's Castle«, einer Gruppe hydrothermalen Schloten. Dort strömt aus vier »schwarzen Rauchern« zirka 300 Grad heiße Flüssigkeit ins Meer, die aus Schwefelwasserstoff, Ammonium, Kohlenstoffdioxid und ver-

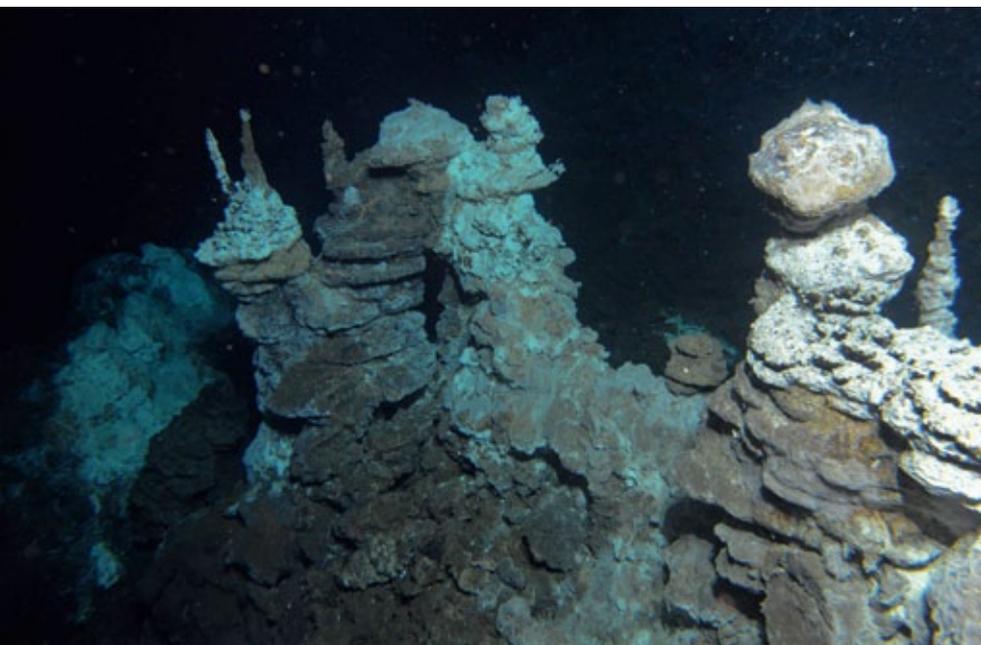
gleichsweise großen Mengen Methan besteht. Obwohl die vulkanische Aktivität von Loki's Castle den Entdeckungsort der Lokiarchaeen stark beeinflusst, herrscht an Letzterem eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt.

Die Wissenschaftler stießen auf die neuen Organismen, indem sie das in der Bodenprobe vorhandene »Metagenom« erfassten, also die gesamte darin enthaltene DNA sequenzierten. Dabei ergaben sich kurze DNA-Stücke, die sich in ihrer Sequenz überlappten und somit aus dem gleichen Organismus stammten, so genannte Contigs. Indem sie diese Contigs zusammenfügten, konnten sie das Lokiarchaeen-Genom rekonstruieren. Die Analyse ergab, dass Lokiarchaeen zu den so genannten TACK-Archaeen gehören (ein Überstamm der Archaea bestehend aus Thaumarchaeota, Aigarchaeota, Crenarchaeota und Korarchaeota). Man wusste bereits, dass Vertreter dieser Gruppe einige Gene für spezielle Proteine besitzen, die sonst nur in Eukaryoten vorkommen. Das Besondere an den Lokiarchaeen aber ist: Sie zeigen eine erstaunliche Vielfalt solcher Gene, zum Beispiel für aktinähnliche Proteine.

Aktine sind eukaryotische Strukturproteine, die Filamente des Zellskeletts bilden und essenziell für verschiedene zelluläre Prozesse sind: Muskelbewegung, Zellteilung, Stofftransport innerhalb der Zelle und Endozytose funktionieren nicht ohne sie. Bei letzterem Vorgang nimmt die Zelle etwas von außen auf, indem sie ihre Zellmembran nach innen stülpt. Schluckt sie feste Bestandteile oder sogar andere Zellen, nennt man diesen Vorgang auch Phagozytose. Die eukaryotische Vorläuferzelle



Nach der Drei-Domänen-Hypothese (links) gliedert sich das Leben in drei Bereiche: Bakterien, Archaeen und Eukaryoten. Einer anderen Auffassung zufolge – jetzt von neuen Daten gestützt – entstanden die Eukaryoten innerhalb der Archaeen (rechts).



R. B. PEDERSEN/CENTRE FOR GEOBIOLOGY (CGB), UNIVERSITY OF BERGEN

Der Fundort der Lokiarchaeen befindet sich nahe der hydrothermalen Kamine von »Loki's Castle« (Bild) in einer Meerestiefe von über 3000 Metern. Wie die neu entdeckten Mikroorganismen unter diesen Bedingungen überhaupt leben können, ist noch ungeklärt, da sie sich bisher nicht kultivieren ließen.

müsste hierzu fähig gewesen sein – andernfalls hätte sie das Alphaproteobakterium wohl nicht aufnehmen können, das zum Mitochondrium wurde.

Das Einverleiben fremden Materials birgt aber auch Risiken: Die eigene DNA könnte sich mit der fremden vermischen. Möglicherweise entstand der mit Membranen abgegrenzte Zellkern der Eukaryoten deswegen, weil so die Integrität des Wirtszell-Genoms bewahrt blieb. Dies könnte durch Membraneinstülpungen um die DNA herum geschehen sein.

Doch wie nah sind Lokiarchaeen tatsächlich mit den Eukaryoten verwandt? Um sie besser im Stammbaum des Lebens einordnen zu können, haben die Wissenschaftler ihre DNA mit der anderer Vertreter der postulierten Domänen verglichen. Demnach bilden die Lokiarchaeen eine monophyletische Gruppe mit den Eukaryoten. Das heißt, beide stammen von einer gemeinsamen Urform ab. Lokiarchaeen sind also nicht die Vorläufer von Eukaryoten, sondern eigene Organismen zwischen den relativ simplen Mikroben und den komplexen eukaryotischen Zellen.

Weiter unklar ist jedoch, ob Archaeen und Eukaryoten von einem gemeinsamen Vorfahren abstammen oder ob die komplexen Zellen aus Archaeen hervorgingen. Im ersten Szenario, das die Forscher bis vor ein paar Jahren überwiegend annahmen, gäbe es drei Domänen im Stammbaum des Lebens, im zweiten nur zwei, denn Eukaryoten würden zum selben Ast wie Archaeen gehören (siehe Grafik). Die aktuelle Studie stützt die letztere, seit zwei Jahren zunehmend populäre Ansicht, beweist sie jedoch noch nicht endgültig.

### Nichts als etwas Dreck

Alles, was die Forscher bisher über Lokiarchaeen wissen, stammt aus weniger als zehn Gramm Dreck vom Meeresboden. Und sie kennen lediglich Sequenzen ihrer DNA. Ettema versucht nun, auch die Organismen selbst zu kultivieren und zu untersuchen. Nur so ließe sich erkennen, wie komplex sie wirklich sind und ob ihre spektakulären Gene tatsächlich die gleichen Aufgaben erfüllen wie bei Eukaryoten.

Dass jene eukaryotenartigen Erbanlagen funktionslos sind, hält der Evo-

lutionsbiologe Andrew Roger von der kanadischen Dalhousie University für unwahrscheinlich: »Gene, die nicht exprimiert werden oder nicht funktional sind, bleiben nicht sehr lange im prokaryotischen Genom. Mutationen hätten sie sicherlich bereits aus dem Genom gelöscht.«

Die Forscher wissen auch nicht, wie Lokiarchaeen unter den schwierigen Bedingungen am Fundort überhaupt überleben. Neben Eiseskälte herrscht im Tiefseeboden auch chronischer Nährstoffmangel. »Auf Grund der extremen Limitierung von Nährstoffen ist das Leben in dieser Biosphäre sehr langsam«, erklärt Ettema. Er schätzt, dass sich Mikroorganismen im Tiefseeboden möglicherweise nur einmal alle zehn Jahre teilen. Lokiarchaeas langsame Art zu leben ist auch ein Grund, wieso es bisher nicht gelang, Kulturen von ihnen zu züchten.

In den Tiefen des Atlantiks sind die Forscher mit den Lokiarchaeen auf Zeugen der Entstehung von Eukaryoten gestoßen. Vermutlich gibt es noch weitere Archaeenarten zu entdecken, die Aufschluss über unser Verwandtschaftsverhältnis zu den einzelligen Prokaryoten geben könnten. »Ich denke, wir brauchen noch mehr Bindeglieder, um die phylogenetischen Analysen zu bestätigen«, so Roger. »Diese könnten uns auch dabei helfen, die Reihenfolge zu rekonstruieren, in der die größten genetischen und zellulären Innovationen auf dem Weg zu den Eukaryoten stattfanden.«

Die neue Studie lässt vermuten, dass die eukaryotische Vorläuferzelle viel komplexer war als bisher angenommen. Sie besaß höchstwahrscheinlich bereits dynamische aktinähnliche Filamente und weitere Proteine, die bis dato für eukaryotenspezifisch gehalten wurden. So haben die neuen Lokiarchaeen nicht nur ein neues Glied in den Stammbaum des Lebens eingefügt, sondern auch ein wenig Licht ins Dunkel des Ursprungs unserer eigenen Zellen gebracht.

---

**Nicole Paschek** ist Biologin und Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

ÖKOLOGIE

# Das Rätsel von Rapa Nui

Kollabierte die Kultur der Osterinsel infolge eines Raubbaus an der Natur oder auf Grund der von Europäern eingeschleppten Krankheiten? Simulationen lassen an beiden Thesen zweifeln – und kommen zu einer salomonischen Lösung.

VON GUNNAR BRANDT

Ein karges, baumloses Eiland, gerade mal 24 Kilometer lang und nicht einmal halb so breit, das etwa 3500 Kilometer von der Küste Chiles entfernt isoliert im Pazifik liegt und heutzutage von weniger als 6000 Menschen bewohnt ist – die Osterinsel bietet auf den ersten Blick wenig Aufregendes. Ohne die meterhohen steinernen »Moai« (siehe Bild), die im Landesinneren geschlagen und unter großem Aufwand überall an den Küsten aufgestellt wurden, wäre die von den Ureinwohnern Rapa Nui genannte Insel vielleicht niemals in den Fokus der Wissenschaft geraten. Doch diese Monumente sprechen für eine einst blühende Kultur, die wenig mit den Beschreibungen der europäischen Entdecker gemein hat, die am Ostersonntag 1722 dort an Land gingen.

*Ein wichtiger Effekt der Bevölkerungsdichte war der verstärkte Holzeinschlag. Denn Kanus für die Jagd auf Meeressäuger, für Fischerei, Hausbau und eventuell auch für den Transport der Moai setzten das Fällen großer Palmen voraus*

Tatsächlich verraten Pollen in Sedimentkernen: Als die nach heutigem Wissen aus Polynesien stammenden ersten Siedler um 1200 die Insel erreichten, gediehen dort fast überall Palmen, zumeist *Jubaea chilensis*, die Honigpalme. Der amerikanische Wissenschaftler Jared Diamond beschrieb daher 2005 in seinem Buch »Kollaps« sehr plakativ die These, die Ureinwohner hätten diese Ressource zu exzessiv ausgebeutet und so die Ökologie Rapa Nuis zerstört – mit verheerenden Folgen für sie selbst. Nicht nur trugen die Palmenkerne und der zuckerhaltige Saft des Stamms zur Ernährung bei, das Holz war zudem der

einzige Werkstoff für Häuser und Kanus sowie gutes Brennmaterial. Indem die Menschen Wäldchen niederbrannten, gewannen und düngten sie auch Ackerflächen. Je mehr die Bevölkerung wuchs, desto stärker wurde die Ressource übernutzt. Die maximale Einwohnerzahl schätzte Diamond anhand der archäologischen und paläoökologischen Daten auf rund 15000. Die europäischen Seefahrer trafen deutlich weniger an: Ihre Aufzeichnungen sprechen von ein paar tausend bis zu wenigen hundert. Um 1680 sei die Insel fast vollständig entwaldet gewesen, beschleunigt durch Krieg und Kannibalismus hätte sich der »Ökozid« in nur wenigen Jahrzehnten vollzogen.

»Kollaps« kam auf die Bestsellerlisten, und das vermeintlich selbst verschuldete Schicksal der Rapanui avan-

gierte zum Menetekel eines rücksichtslosen Umgangs mit natürlichen Ressourcen. Allerdings gibt es keine Informationen, die direkte Rückschlüsse auf die Einwohnerzahl in der Zeit vor der Entdeckung zulassen. Zwar existieren etwa zwei Dutzend Holztafeln mit als Rongorongo bekannten Schriftzeichen, doch eine schlüssige Übersetzung und Deutung stehen noch aus.

Die archäologischen und pollenanalytischen Informationen lassen sich aber auch anders deuten. Sie bestätigen zwar die Berichte der Entdecker: 1722 war die Insel kaum noch bewaldet. Auch die als Genozid bezeichnete Gegenthese

geht daher von einer Waldübernutzung aus, doch sei der Rückgang der Palmen damals noch nicht abgeschlossen gewesen, da er weit langsamer verlief. Die Zahl der Einwohner betrug laut dem Archäologen Terry Hunt von der University of Hawaii etwa 4000 und blieb über die fünf Jahrhunderte zwischen der Besiedlung und der Ankunft der Europäer weitgehend stabil. Diese Anzahl hätte nach Hunts Schätzung langfristig auf der Insel überleben können, da sich die klimatischen Bedingungen in dieser Zeit nicht sonderlich verändert hätten. Der allmähliche Verlust des Waldes und insbesondere der Düngung durch Brandrodung sei zum Beispiel durch Untermengen kleiner Steine in die Ackerflächen kompensiert worden – eine Technik, bei der durch Verwitterung dem Boden Nährstoffe zugeführt werden. Was die Bevölkerung tatsächlich dezimiert hätte, seien von den Europäern eingeschleppte Infektionskrankheiten und der Menschenraub für den Sklavenhandel gewesen.

Von Gegnern der Ökozidtheorie wird immer wieder ein weiterer Akteur ins Spiel gebracht: die an Bord der polynesischen Kanus als Schlachttier mitgeführte Pazifische Ratte. Sie ernährt sich unter anderem von Palmennüssen, die dann nicht mehr keimen und neue Bäume hervorbringen können. Ohne natürliche Feinde, so die Forscher, konnten sich die Tiere rasant vermehren und hatten somit maßgeblichen Anteil am Verschwinden des Waldes. Leider lässt sich diese Theorie bislang nicht überprüfen und der Einfluss der Ratte nicht genau quantifizieren.

Anhand von ausgegrabenen Werkzeugen, Spuren von baulichen Strukturen, Nachweisen von Brandrodung,

sterblichen Überresten und anderem können Archäologen die Besiedlung lediglich qualitativ in ihrem zeitlichen Ablauf nachvollziehen. Welcher Erklärungsansatz des Status quo im Jahr 1722 die historische Wirklichkeit besser wiedergibt, haben Agostino Merico und ich daher mit einem mathematischen Modell überprüft, das die wichtigsten

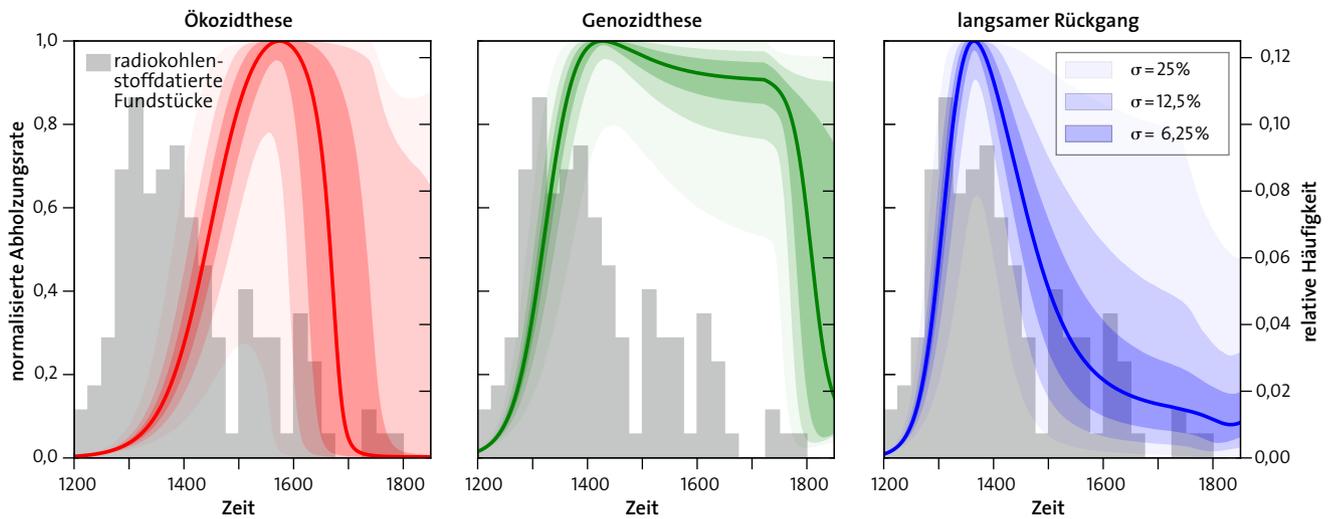
Komponenten des Mensch-Umwelt-Systems und ihre Interaktionen für die Zeit zwischen 1200 und der Mitte des 19. Jahrhunderts berücksichtigt. Es besteht aus verknüpften Differenzialgleichungen, welche die zeitlichen Änderungen der Populationen von Menschen, Ratten und Palmen simulieren, indem sie Wachstum und Sterblichkeit

miteinander verrechnen; für die Menschen wurde die Mortalität auch durch ein »Seuchenmodul« berücksichtigt.

Für den Palmenwald nahmen wir eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit an – infolge der Ratten wie der Nutzung durch den Menschen. Ein wichtiger Effekt der zunehmenden Bevölkerungsdichte aber waren der verstärkte Holzeinschlag und die Brandrodung. Denn Kanus zur Jagd auf Meeressäuger, Fischerei, Hausbau und eventuell der Transport der Moai setzten das Fällen großer Palmen voraus. Und mit jedem niedergebrannten Wäldchen stand nicht

**Gewaltige Steinskulpturen, die so genannten Moai, blicken weit über das Meer. Für Touristen sind sie der Grund, die Osterinsel zu besuchen; ansonsten ist die Landschaft karg und wenig anziehend. Dabei war das Eiland einst dicht mit Palmen bewachsen. Führte das Verschwinden des Waldes zum Untergang der Rapa-Nui-Kultur?**





BRANDT, C., MENDOZA, A.: THE SLOW DEMISE OF EASTER ISLAND: INSIGHTS FROM A MODELING INVESTIGATION OF HUMAN IMPACTS IN ECOLOGY AND EVOLUTIONS (JUNE 18, 2015). DOI: 10.3390/PL0030106003.FIG. 4. MIT FREI. GEB. VON GUNNAR BRANDT

Archäologische Holzfunde bieten eine verlässliche Möglichkeit, die in der Simulation berechnete Abholzungsrates zu überprüfen. Doch weder Ökozid- noch Genozidthese ergeben übereinstimmende Verläufe der Häufigkeitsverteilungen. Ein Szenario dazwischen gibt die Realität wohl am besten wieder (rechts).

nur Ackerland zur Verfügung, der Boden wurde auch durch die Asche gedüngt. Die simulierte Populationsgröße der Insulaner koppelte also zurück auf die der Palmen und vice versa.

Ökozid und Genozid konnten mit diesem Modellsystem bereits simuliert werden, wobei die wissenschaftliche Literatur die Parameterwerte lieferte. Für die Ausgangssituation verwendeten wir folgende: 50 Polynesier (Schätzungen der Archäologen gehen von weniger als 100 Individuen aus); 10 Ratten und 800000 Palmen (letzteres entspricht konservativen 50 Prozent des von den Kieler Ökologen Andreas Mieth und Hans-Rudolf Bork ermittelten Werts). Insgesamt zehn Parameter spiegeln die beiden Szenarien. Die wichtigsten betreffen die maximale Bevölkerungszahl, die Abhängigkeit des Bevölkerungswachstums von der Ressource Holz im Verhältnis zum Ackerbau und die der Abholzungsrates von der Größe des Waldes – im Szenario Ökozid wird er rücksichtsloser gefällt, im Alternativszenario zurückhaltender, je kleiner er wird. Indem wir die Werte nach einem statistischen Verfahren variierten, ermittelten wir ihren Einfluss auf die Simulationen.

Diese Berechnungen untermauerten wir per Abgleich mit einer Zusammen-

stellung von radiokohlenstoffdatierten Holzstücken und Palmnüssen. Diese gelten als Zeugnisse menschlicher Aktivität, seien sie Überreste einer Brandrodung, Brennmaterial aus Öfen oder Artefakte von religiösen Stätten. Unter der Annahme, dass die Fundhäufigkeit der Nutzungsintensität des Palmenwalds in einem bestimmten Zeitraum entspricht, haben wir die simulierten Abholzungsmuster mit der Häufigkeitsverteilung dieser Objekte verglichen.

**Ein goldener Mittelweg**

Erstaunlicherweise weichen diese sowohl für Ökozid und Genozid erheblich von der Verteilung der Beobachtungsdaten ab. Diese sprechen für eine intensive Holznutzung im 14. und 15. Jahrhundert, die sich in der Simulation weder mit einem Bevölkerungsmaximum von 15000 Menschen im 17. Jahrhundert (Ökozid) noch mit der konstanten Zahl von 4000 Bewohnern (Genozid) reproduzieren ließ.

Den archäologischen Daten näher kam eine Simulation, die von einer gut bewaldeten Insel in den ersten Jahrhunderten nach der Besiedlung ausging, maximal etwa 6000 Menschen im 14. Jahrhundert und eine durch allmähliche Ressourcenknappheit erzwunge-

ne Halbierung bis 1722. Dieses Ergebnis wird auch durch Pollenanalysen aus Sedimentkernen gestützt, die laut Núria Cañellas-Boltà von der Universidad de Barcelona einen deutlichen Palmenschwund vor 1500 aufzeigen. Ein langsamer Niedergang ist somit ein Kompromiss zwischen Ökozid und Genozid, der die Beobachtungsdaten schlüssig erklärt. Die durch Differenzialgleichungen modellierte Ausbreitung von Krankheiten ließ die Populationsgröße dann weiter einbrechen und bewirkte nochmals eine Halbierung. 1850 endet die Simulation mit etwa 1500 Bewohnern, wobei Verschleppung und Ermordung unberücksichtigt blieben. Zum weiteren Verlauf gibt es schriftliche Quellen. So wurden vermutlich 1400 Insulaner Anfang der 1860er Jahre als Zwangsarbeiter nach Peru deportiert. Wenig später drängte eine europäische Firma die Rapanui in einen kleinen Teil der Insel, um den großen Rest als Weideland zu nutzen. Erst in den 1970er Jahren erhielten die letzten verbliebenen Insulaner des zu Chile gehörenden Eilands mehr Rechte. Inzwischen leben dort wieder gut 6000 Menschen, zumeist vom Tourismus. Als Lehrbeispiel für den viel zitierten ökologischen Selbstmord taugt die Osterinsel also nicht, dunkle Schatten wirft ihr Schicksal gleichwohl.

**Gunnar Brandt** ist promovierter Systemökologe am Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie in Bremen.

# Norden stößt Klimaschaukel an

Die Analyse eines Eisbohrkerns aus der Antarktis verrät Genaueres über die Kopplung des Klimas auf der Nord- und Südhalbkugel während der letzten Eiszeit. Demnach folgten jeweils rund 200 Jahre nach Temperatursprüngen auf Grönland markante Klimaänderungen in entgegengesetzter Richtung am Südpol.

VON TAS VAN OMMEN

Im Verlauf der letzten drei Jahrzehnte haben Eisbohrkerne aus Grönland und von der Antarktis faszinierende Wechselwirkungen zwischen dem Klima auf den beiden Erdhalbkugeln während des letzten Vereisungszyklus von vor etwa 110000 bis vor 12000 Jahren offenbart. Im Norden wurde die allgemein herrschende Kälte mehrfach von einer plötzlichen Erwärmung unterbrochen, gefolgt von einer leichten Abkühlung über einige Jahrhunderte, bevor die Temperatur wieder abrupt auf das eiszeitliche Niveau absackte. Diese sogenannten Dansgaard-Oeschger- oder

kurz DO-Ereignisse hatten Gegenstücke in der Antarktis, aber mit entgegengesetztem Verlauf: Während der Kältephasen in Grönland stieg am Südpol die Temperatur langsam an, erreichte ein Maximum und fiel während der warmen Episoden im Norden allmählich wieder ab.

In dem Maß, wie Forscher höher aufgelöste Daten von Eisbohrkernen aus der Antarktis gewannen und die Klimakurven für die beiden Hemisphären immer besser synchronisieren konnten, kristallisierte sich ein klarer zeitlicher Zusammenhang zwischen den

DO-Ereignissen und den Temperaturmaxima am Südpol heraus. Letztere werden allgemein als Antarktische Isotopenmaxima (AIM) bezeichnet, weil das Verhältnis der beiden Sauerstoffisotope O-18 zu O-16 im Eis als Klimaindikator dient. Dennoch gelang es nicht, die Vorgänge im Norden und Süden auf weniger als einige Jahrhunderte genau einander zuzuordnen. Damit blieb offen, ob DO-Ereignisse und AIMS exakt zusammenfielen oder zeitlich verzögert auftraten.

Die Analyse eines neuen Eisbohrkerns vom Kamm des Westantarkti-

**Spektrum**  
DER WISSENSCHAFT  
VERLAG

## DIE SPEKTRUM-SCHREIBWERKSTATT

Möchten Sie mehr darüber erfahren, wie ein wissenschaftlicher Verlag arbeitet, und die Grundregeln fachjournalistischen Schreibens erlernen?

Dann profitieren Sie als Teilnehmer der Spektrum-Workshops »Wissenschaftsjournalismus« und »Das Interview« vom Praxiswissen unserer Redakteure.

Ort: Heidelberg

Spektrum-Workshop »Wissenschaftsjournalismus«; Preis: € 139,- pro Person; Sonderpreis für Abonnenten: € 129,-

Spektrum-Workshop »Das Interview«; Preis: € 179,- pro Person; Sonderpreis für Abonnenten: € 159,-

Weitere Informationen und Anmelde­möglichkeit:

**Telefon: 06221 9126-743**  
**spektrum.de/schreibwerkstatt**

Fax: 06221 9126-751 | E-Mail: service@spektrum.de

Hier QR-Code  
per Smartphone  
scannen!

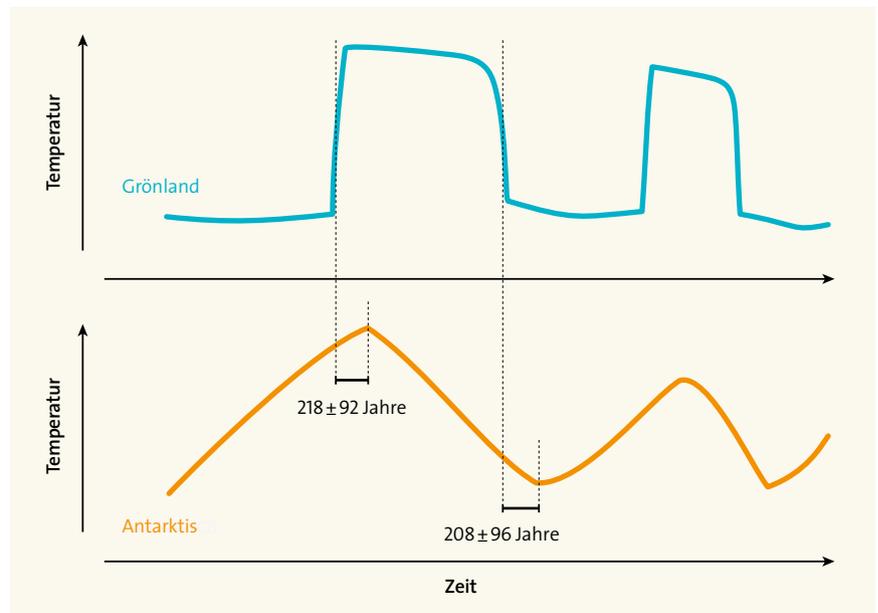


schen Eisschildes (WAIS) durch Christo Buizert von der Oregon State University in Corvallis und seine Kollegen hat diese Unsicherheit nun beseitigt und gezeigt, dass der Umschwung am Südpol stets etwa 200 Jahre nach dem auf Grönland erfolgte (*Nature* 520, S. 661–665, 2015). Das bestätigt die alte Vermutung, wonach der Norden jeweils den Anfang machte und die Trendwende im Süden nach sich zog. Der relativ lange zeitliche Abstand spricht außerdem dafür, dass die Kopplung zwischen den Vorgängen in beiden Hemisphären über das Meer und nicht über die Atmosphäre stattfand.

Eine entsprechende Hypothese, bekannt unter dem Begriff bipolare Klimaschaukel, stützt sich auf die Existenz einer großräumigen Wasserzirkulation im Atlantik: der Atlantic meridional overturning circulation (AMOC). Diese führt als eine Art Umwälzpumpe warmes Oberflächenwasser von der Südhalbkugel nach Norden. Weil es dabei allmählich abkühlt und sein Salzgehalt auf Grund von Verdunstung steigt, nimmt seine Dichte stetig zu, bis es am Rand der Arktis schließlich absinkt. Am Meeresgrund strömt es dann als nordatlantisches Tiefenwasser nach Süden zurück. Verstärkt sich diese Zirkulation, steigen die Temperaturen im Norden, während sie im Süden fallen. Das Gegenteil passiert, wenn sie sich abschwächt.

**Der Südhalbkugel hinkte hinterher**

Auf den ersten Blick scheint aus dieser Hypothese zu folgen, dass sich die Klimaverhältnisse in den beiden Erdhälften einfach gegenläufig zueinander verändern. Das trifft jedoch nicht zu. Der Grund ist, dass der riesige Südozean mit seiner enormen Wärmekapazität nur verzögert auf ein Temperatursignal aus dem Norden reagiert. Berücksichtigen Klimaforscher diesen Effekt, erhalten sie ein einfaches thermodynamisches Modell der bipolaren Klimaschaukel, das die Beobachtungen befriedigend erklärt. Aus diesem Modell geht hervor, dass die plötzliche Erwärmung bei DO-Ereignissen mit einer verstärkten Meereszirkulation zusammenhing, in deren



VAN DOMMEN, T.: NORTHERN PUSH FOR THE BIPOLAR SEESAW. IN: NATURE 520, S. 660–661, 2015, FIG. 1

**Während der letzten Eiszeit entwickelte sich das Klima in der Antarktis gegenläufig zu dem in Grönland. Dabei folgten die Umschwünge im Süden denen im Norden mit einer Verzögerung von ungefähr 200 Jahren.**

Verlauf die Südhalbkugel Wärme an den Norden abgab und sich deshalb abkühlte. Kältephasen in Grönland entsprechen dagegen Perioden mit abgeschwächter AMOC, in denen sich im Gegenzug die Antarktis erwärmte.

Die Frage nach der eigentlichen Ursache der Klimaumschwünge – wieso verstärkte sich die atlantische Umwälzpumpe oder erlahmte? – bleibt jedoch unbeantwortet. Als mögliche Auslöser kommen Änderungen in der Süßwasserzufuhr, in der Meereisbedeckung oder in der Ausdehnung von Eisschelfen in Frage, die allesamt die Bildung von Tiefenwasser im Norden oder Süden beeinflussen können (siehe SdW 1/1996, S. 86). Auch wenn Buizert und seine Kollegen die Zeitverzögerung zwischen DO-Ereignis und AIM als klaren Hinweis darauf werten, dass eine vom Norden ausgehende AMOC-Verstärkung die Veränderungen im Süden auslöste, lassen sie Einwände von Kritikern gelten, wonach die Vorstellung eines Auslösers in einem System eng miteinander gekoppelter Oszillationen vielleicht nicht angemessen ist. Externe, bisher unbekannte Faktoren könnten dieses System als Ganzes an einen Punkt führen, an dem es kippt.

Nach der neuen Untersuchung des antarktischen Eisbohrkerns endete die langsame Erwärmung der Antarktis im Mittel 218 Jahre nach einem DO-Ereignis und begann wieder durchschnittlich 208 Jahre nach dem Rücksprung in den kalten Modus im Norden. Die Dauer dieser Verzögerung scheint aus zwei Gründen interessant. Zum einen ist die Zeitspanne viel länger, als bei einer Kopplung über Vorgänge in der Atmosphäre zu erwarten wäre, was auf den Ozean als Bindeglied hindeutet. Zum anderen stimmen beide Werte erstaunlich genau überein. Die Reaktion im Süden folgt also immer im selben zeitlichen Abstand auf die Veränderung im Norden, gleichgültig ob es sich um einen Temperatursprung nach oben oder unten handelt. Das liefert neue, wesentliche Randbedingungen für die Prozesse, die für den Transport von Wärme in den südlichen Ozean und über die Barriere des antarktischen Zirkumpolarstroms hinweg verantwortlich sind.

Die neuen Messwerte nähern sich der Grenze dessen, was Analysen von Eisbohrkernen hergeben. Dabei sind auch sie noch mit einer erheblichen Unsicherheit von fast 100 Jahren behaf-

tet. Das liegt vor allem an unvermeidlichen Ungenauigkeiten beim Datieren der im Eis eingeschlossenen Luft und beim Nachweis von Trendänderungen in der Isotopenzusammensetzung des gefrorenen Wassers; in beiden Fällen stört das mit klimatischen Vorgängen stets verbundene »Datenrauschen« bei den Messwerten. Um es zu unterdrücken, mittelten die Autoren der neuen Studie über mehrere AIMs. Aber so aufschlussreich die durchschnittliche Verzögerung ist, wäre doch auch interessant zu wissen, inwieweit der Abstand zwischen einzelnen DO-AIM-Paaren variiert.

Untersuchungen an weiteren antarktischen Eisbohrkernen lassen darauf schließen, dass der Temperaturverlauf regional schwankt. Außerdem sind während des Anstiegs in der Regel zwei Phasen zu erkennen, die auf Änderun-

gen in der Luftzirkulation unabhängig von Vorgängen auf Grönland hindeuten. Entsprechendes entdeckten Buizert und seine Kollegen auch in ihrem Eisbohrkern. Überdies maßen sie Änderungen im Salzgehalt während einer Erwärmungsphase – womöglich ein Hinweis auf die Zufuhr von Süßwasser und Rückkopplungsprozesse im Meer, die sich auf die bipolare Klimaschaukel auswirken könnten.

### Entscheidende Klimakopplung

Die genaue Zeitverschiebung zwischen Klimaereignissen in beiden Erdhälften zu kennen, ist zweifellos ein großer Fortschritt. Aber das volle Ausmaß der in den antarktischen Eisbohrkernen dokumentierten Änderungen, etwa was den Kohlendioxidgehalt der Luft betrifft, dürfte noch lange nicht ausgelotet sein. Ein umfassendes Verständnis

der Klimakopplung zwischen den Hemisphären steht deshalb weiterhin aus. Dennoch sind die Befunde von Buizert und seinen Kollegen auch im Hinblick auf eine aktuelle Abschwächung der AMOC durch den anthropogenen Treibhauseffekt von Bedeutung, die schon länger erwartet wurde und sich neuerdings zu bestätigen scheint. Unsere Fähigkeit, die globalen Auswirkungen einer solchen Entwicklung vorherzusagen, hängt ganz entscheidend davon ab, wie gut wir die Wechselwirkung zwischen Nord- und Südhalbkugel des Planeten verstehen.

---

Tas van Ommen ist Paläoklimatologin an der University of Tasmania in Hobart.

---

© Nature Publishing Group

[www.nature.com](http://www.nature.com)

Nature 520, S. 630–631, 30. April 2015

---

UMWELT

## Pflanzenschutzmittel kontra Bienen

Bestimmte Pestizide – die Neonikotinoide – galten vielen bisher als unbedenklich für die Bestäuber der behandelten Pflanzen. Doch neue Studien wecken Zweifel.

VON DANIEL CRESSEY

Das Bienensterben taucht immer wieder in den Schlagzeilen auf. Verschiedene Ursachen dafür konnten bereits ausgemacht werden: darunter die parasitische Varroamilbe und der Rückgang des Nahrungsangebots. Verdächtig wird des Weiteren die Substanzklasse der Neonikotinoide, die auf einen Rezeptor von Nervenzellen besonders bei Insekten wirken. Diese synthetischen Insektizide sind als Beizmittel zum Schutz von Saatgut beliebt; Pflanzen können sie außerdem aus dem Boden aufnehmen und in ihre Blätter einlagern. Sie gelangen allerdings ebenso in den Pollen und Nektar. Der Einsatz dreier dieser Mittel bei Saatgut – Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxan – ist in der EU gegenwärtig untersagt, weil nicht ausgeschlossen erschien, dass sie nicht nur die Fraßfeinde und Blattsau-

ger schädigen, sondern auch die bestäubenden Insekten. In diesem Dezember soll das Verbot nochmals geprüft werden. Entsprechende Maßgaben gibt es in den USA nicht. Allerdings teilte die US Environmental Protection Agency am 2. April 2015 mit, neue Neonikotinoide würden wahrscheinlich nicht zugelassen werden, ehe keine weiteren Bienenstudien vorlägen.

Die bisherige Datenlage ist durchwachsen. Von den vorliegenden Untersuchungen, die einen Zusammenhang des Bienensterbens mit dem Einsatz solcher Substanzen gefunden hatten, gerieten viele in die Kritik. Es hieß zum Beispiel, die Forscher hätten mit unrealistisch hohen Dosierungen gearbeitet. Zudem meinten manche Befürworter des Einsatzes von Neonikotinoiden, Bienen würden lernen, behandelte Pflan-

zen zu meiden, falls diese Insektizide ihnen tatsächlich schadeten.

Eben diese Frage hat die Insektenneuroethologin Geraldine Wright von der Newcastle University zusammen mit Kollegen untersucht (*Nature* 521, S. 74–76, 2015). Die Forscher sperren Honigbienen (*Apis mellifera*) und Erdhummeln (*Bombus terrestris*) in Boxen. Dort konnten die Tiere wählen zwischen reinem Nektar und einem Nektar, der jeweils mit einem der drei oben genannten Insektizide verunreinigt war. Wie sich herausstellte, bevorzugten Bienen den sauberen süßen Saft nicht. Vielmehr zeigten sie sogar eine leichte Vorliebe für die mit Imidacloprid beziehungsweise mit Thiamethoxan versetzte Nahrung. Ob sie das im Freien auch täten, bleibt allerdings vorerst unklar.

## Zu schön, um wahr zu sein

### Der Abbau von Vorurteilen ist ein Anliegen, das zu Wunschdenken verführt – bis hin zu wissenschaftlichem Betrug.

Wer wünscht sich nicht, dass stereotype Meinungen, die bestimmte Bevölkerungsgruppen diskriminieren, möglichst schnell, einfach und gründlich abgebaut werden? Und oft heißt es, das beste Mittel gegen Vorurteile sei die persönliche Bekanntschaft mit Menschen, die Opfer solcher Stereotype sind. Kein Wunder, dass eine im renommierten Wissenschaftsmagazin »Science« publizierte Studie zu diesem Thema große Resonanz weit über die Fachwelt hinaus fand (*Science* 346, S. 1366–1369, 2014). Ihr zufolge baue schon ein viertelstündiges Gespräch an der Haustür homophobe Vorurteile ab, wenn es von bekennenden Homosexuellen initiiert werde. Auch ich habe sie an dieser Stelle gutgläubig zitiert – schien sie doch ein »Patentrezept gegen soziale Vorurteile« zu versprechen (*Spektrum der Wissenschaft* 2/2015, S. 18).

Wie sich leider unterdessen herausstellte, stützte der angehende Politologe Michael J. LaCour von der University of California in Los Angeles sein spektakuläres Resultat auf derart fragwürdige Daten, dass sein Doktorvater Donald P. Green von der Columbia University in New York sich von dem gemeinsamen Artikel distanzierte und ihn zurückzog. Nun diskutiert die Fachwelt, wie die akademischen Kontrollmechanismen in diesem Fall so eklatant versagen konnten (*Nature* 522, S. 14–15, 2015).

Anscheinend wird die professionell-skeptische Grundhaltung von Koautoren und Begutachtern manchmal regelrecht abgeschaltet, wenn eine Untersuchung aus dem Bereich der Politik- und Sozialwissenschaften eine besonders plausible und obendrein moralisch genehme Aussage trifft. Für diese Hypothese spricht der krasse Fall des niederländischen Sozialpsychologen Diederik A. Stapel. Er publizierte im Lauf einer glänzenden akademischen Karriere mehr als 100 Fachartikel, die – wie sich 2011 herausstellte – größtenteils auf manipulierten oder frei erfundenen Daten basierten. In einem – inzwischen natürlich zurückgezogenen – »Science«-Artikel hatte Stapel noch 2011 behauptet, er habe empirisch bewiesen, dass Müll auf den Straßen und andere Anzeichen von Unordnung Vorurteile gegen Minderheiten verstärkten. In einer anderen Arbeit von 2011 gab er an, der bloße Gedanke an das Essen von Fleisch verstärke aggressive und asoziale Haltungen.

Wie schön! Anstatt mühsam in Medien und Schulen gegen Vorurteile anzukämpfen, könnte man einfach die Müllabfuhr verbessern, einen fleischlosen »VeggieDay« propagieren – oder, wie ich auf LaCour Bezug nehmend vorschlug, ein Schwätzchen an der Haustür einlegen!

Warum manipulierte LaCour seine Daten? Wie konnte Stapels Karriere einen derart abgründigen Verlauf nehmen? Vermutlich stellten beide fest, dass die meisten sozialwissenschaftlichen Untersuchungen außerhalb der Fachwelt kaum Resonanz finden – es sei denn, das Fazit gibt eine gute Schlagzeile her. Vermutlich hatte Stapel, wie jetzt LaCour, anfangs nur methodisch getrickst, damit ein erwünschtes Ergebnis vom Typ »persönlicher Kontakt baut Vorurteile ab« schön deutlich herauskam. Doch während LaCour gleich am Beginn seiner Laufbahn aufflog, weil ein konkurrierendes Team fand, seine Daten seien »zu schön, um wahr zu sein«, blieben Stapels Manipulationen so lange unentdeckt, dass er mit der Zeit dazu überging, zu einer willkürlich vorgefertigten Aussage völlig hemmungslos die passenden Daten zu erfinden.

Im Fall LaCour lautet die gute Nachricht: Nur ausnahmsweise lässt sich eine wissenschaftliche Karriere auf Schönheitsoperationen an den Daten gründen. Denn in der Regel fällt Betrug im Kollegenkreis schnell auf. Es wäre allerdings wünschenswert, wenn auch die Begutachter der Publikationen bei solchen Themen besonders kritisch prüfen würden.



Michael Springer

Zusätzlich zeichnete das Forscherteam auf, wie die Geschmackssinneszellen der Bienen auf Neonicotinoide in unterschiedlicher Konzentration ansprechen. Bei diesen Tests reagierten die Zellen bei allen Konzentrationen gleich. Demnach können Bienen diese Pestizide offenbar gar nicht schmecken. Die beobachtete leichte Vorliebe für damit angereicherten Nektar müsste somit einen anderen Grund haben. Eine mögliche Erklärung könnten andere Arbeiten liefern, denen zufolge Neonicotinoide im Bienenhirn Rezeptoren aktivieren, die bei Lernen und Gedächtnis mitwirken.

Eine weitere Studie führten Ökologen um Maj Rundlöf an der Universität Lund durch – und zwar im Freiland (*Nature* 521, S. 77–80, 2015). Sie untersuchten Honigbienen sowie verschiedene Wildbienen, darunter Hummeln, auf Rapsfeldern in verschiedenen Gegenden Südschwedens. Das Saatgut von acht der Äcker war mit Clothianidin gebeizt worden, das von acht weiteren in der Hinsicht unbehandelt geblieben.

### Sind Wildbienen, darunter auch Hummeln, stärker gefährdet?

Für die Honigbienen fanden die Forscher keine Unterscheide bezüglich der beiden Feldersorten – wohl aber für die Wildbienen. Bei behandeltem Saatgut registrierten sie auf gleicher Fläche lediglich etwa halb so viele Hummeln und andere wilde Bienen wie bei unbehandeltem Raps. Es gab weniger Nester von solitären Bienen, und die Hummelkolonien entwickelten sich schlechter. Rundlöf vermutet, dass Honigbienen mit ihren riesigen Staaten Verluste von sammelnden Arbeiterinnen besser und länger ausgleichen können. Diesen Befund hält die Forscherin deswegen für alarmierend, weil Honigbienen als Modellorganismus für Toxizitätstests von Pestiziden genommen werden. Wenn diese Art nun aber gar nicht repräsentativ für Bienen allgemein sei, erkläre sich vielleicht, warum dermaßen viele Untersuchungen keine negativen Auswirkungen der eingesetzten Insektengifte feststellen konnten, während andere das Gegenteil aufgezeigt hatten.



FOTOLIA/HELDY MARIEN

**Eine Biene beim Sammeln von Blütenpollen. Gebräuchliche Insektenpestizide in ihren Nahrungspflanzen kann sie nach neuen Studien nicht schmecken.**

Dass Honigbienen gegen Neonicotinoide widerstandsfähiger sind als Wildbienen, vermutet auch der Bienenforscher Dave Goulson von der University of Sussex im englischen Brighton. Er hält Rundlöfs Arbeit für die bisher beste Freilandstudie auf dem Gebiet. Zahlreiche Fehler früherer solcher Untersuchungen hätten diese Wissenschaftler vermieden, wie eine mögliche Kontamination der Kontrollgruppe mit solchen Giften. Jeder vernünftige Mensch müsse einfach sehen, dass diese Untersuchung eine handfeste Wirkung der Insektizide auf Bienen aufzeigt.

Derzeit spitzt sich der Streit darüber zu, ob diese Pestizide wirklich Schäden anrichten. Im Frühjahr 2015 hatte Goulson eine Arbeit publiziert, bei der er die Daten einer Studie des britischen Amts für Nahrungs- und Umweltforschung von 2013 nochmals analysierte. Deren Autoren waren zu dem Ergebnis gekommen, dass neonicotinoide Pestizide Bienen nicht beeinträchtigen (siehe [go.nature.com/w9jlti](http://go.nature.com/w9jlti)). Goulsons Analyse ergab das Gegenteil (*PeerJ* 3, e854, 2015). Ebenfalls im Frühjahr 2015 erschien eine Studie US-amerikani-

scher Forscher, derzufolge die Beeinträchtigung von Honigbienen vernachlässigbar ist, wenn sie Pflanzen von mit Imidacloprid gebeizten Samen aufsuchen (*PLoS ONE* 10, e0126043, 2015). Zu ähnlichen Ergebnissen kam 2014 eine kanadische Untersuchung zu Clothianidin bei Raps (*PeerJ* 2, e652, 2015).

Christopher Connolly von der britischen University of Dundee erforscht als Neurowissenschaftler sowohl Menschen als auch Bienen. Von ihm erschien kürzlich eine Studie, die nachwies, dass Neonicotinoide Nervenzellfunktionen von Hummeln stören (*FASEB J* 29, S. 2112–2119, 2015). Ihm war nach eigener Aussage schon vor der Veröffentlichung der neuen Arbeiten klar, dass diese Pestizide für Bienen nicht gut sind. Jetzt müssten die Forscher die Ebene der Fragestellung wechseln, nämlich sich daran machen, die zu Grunde liegenden Mechanismen zu finden.

---

**Daniel Cressey** ist Redakteur bei »Nature«.

---

Nature Publishing Group  
[www.nature.com](http://www.nature.com)  
 Nature 520, S. 416, 23. April 2015

## JAHRGANGS-CD-ROM 2014



Die CD-ROM bietet Ihnen alle Artikel (inklusive Bilder) des vergangenen Jahres im PDF-Format. Diese sind im Volltext recherchierbar und lassen sich ausdrucken. Eine Registerdatenbank erleichtert Ihnen die Suche ab der Erstausgabe 1978. Die Jahrgangs-CD-ROM kostet im Einzelkauf € 25,- (zzgl. Porto) oder zur Fortsetzung € 18,50 (inkl. Porto Inland).

So erreichen Sie uns:

**Telefon: 06221 9126-743**  
**[www.spektrum.de/recherche](http://www.spektrum.de/recherche)**

Fax: 06221 9126-751

E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)