

QUANTENSPRUNG

Elektrische Liebe bei Fischen

Vor 35 Jahren veröffentlichte der Philosoph Thomas Nagel in der Zeitschrift „Philosophical Review“ einen denkwürdigen Aufsatz mit dem ungewöhnlichen Titel „What is it like to be a bat?“. Es ging ihm darum, den Unterschied zwischen subjektiven und objektiven Sichtweisen zu verstehen, aber auch um Fragen des wissenschaftlichen Reduktionismus, des Bewusstseins und des Körper-Geist Problems.

Sicher hat sich die Sicht der Welt durch die moderne Wissenschaft objektiviert. So ist auch schon lange klar, dass jede Tierart in einer anderen sensorischen Umwelt, wie Jakob von Uexküll dies nannte, lebt. Hunde leben beispielsweise in einer eher schwarz-weißen (sie können weit weniger Farben unterscheiden als Menschen), geruchsbetonten Welt, und Fledermäuse bewegen sich in einer dunklen Welt des Ultraschalls. Natürlich leben Fledermäuse nur in dieser „Ultra“-Welt, weil wir diese Frequenzen nicht mehr hören; wir definieren schließlich, was „normal“ und was außerhalb – eben „ultra“ – unserer sensorischen Welt ist.

Manche Sinnesempfindungen fehlen unserer Art völlig, sind aber das Normalste der Welt für andere. Eines meiner Lieblingsbeispiele für eine wohl wirklich andere Umwelt sind die elektrischen Fische. Ihre Augen sind fast vollkommen reduziert, da sie in den trüben Gewässern ihres Lebensraums sowieso un-



**AXEL MEYER**  
Professor für Evolutionäre Biologie in Konstanz und Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin

nütz wären. Mit umgebauten Muskelzellen bauen diese Fische ein elektrisches Feld um sich herum auf. Sie nutzen ihre Fähigkeit, Veränderungen in ihrer elektrischen Umwelt wahrzunehmen, um Beute zu finden, sich zu orientieren oder miteinander zu kommunizieren. Manche Arten, wie der Zitteraal im Amazonas, können Spannungen von bis zu 1 000 Volt erzeugen und damit sogar Beute betäuben.

Ein Forscherteam um Ralph Tiedemann von der Universität Potsdam berichtet nun in der aktuellen Ausgabe der Fachzeitschrift „Biological Letters“, dass die elektrischen Signale auch zur Partnerwahl benutzt werden. Die Tiere konnten sogar zwischen den elektrischen Signalen zweier sehr nahe verwandter Arten unterscheiden.

Bei anderen elektrischen Fischen des Amazonas hat man sogar unterschiedliche innerartliche Dialekte gefunden. So ist es denkbar, dass sozusagen die elektrische Mundart zur selektiven Partnerwahl und damit schließlich zur Artbildung führen könnte.

wissenschaft@handelsblatt.com

MARCUS ANHÄUSER | DÜSSELDORF

Das soll die Zukunft der Nanotechnologie sein? Das ist eine Handvoll Sand. Ganz gewöhnlicher Dreck.

Mit bloßem Auge betrachtet, haben Kieselalgen-Gehäuse nichts Beeindruckendes: Sie sehen aus wie Sandkörner. Erst unter dem Mikroskop erkennt man, welche Wunder der Natur man vor sich hat: Die Vergrößerung offenbart filigrane Gehäuse aus Siliziumdioxid, demselben Material, aus dem die Natur Edelsteine und der Mensch Glas herstellt. Diese feinen, aber äußerst stabilen Glaspaläste bauen sich die Einzeller als Schutz vor Fressfeinden.

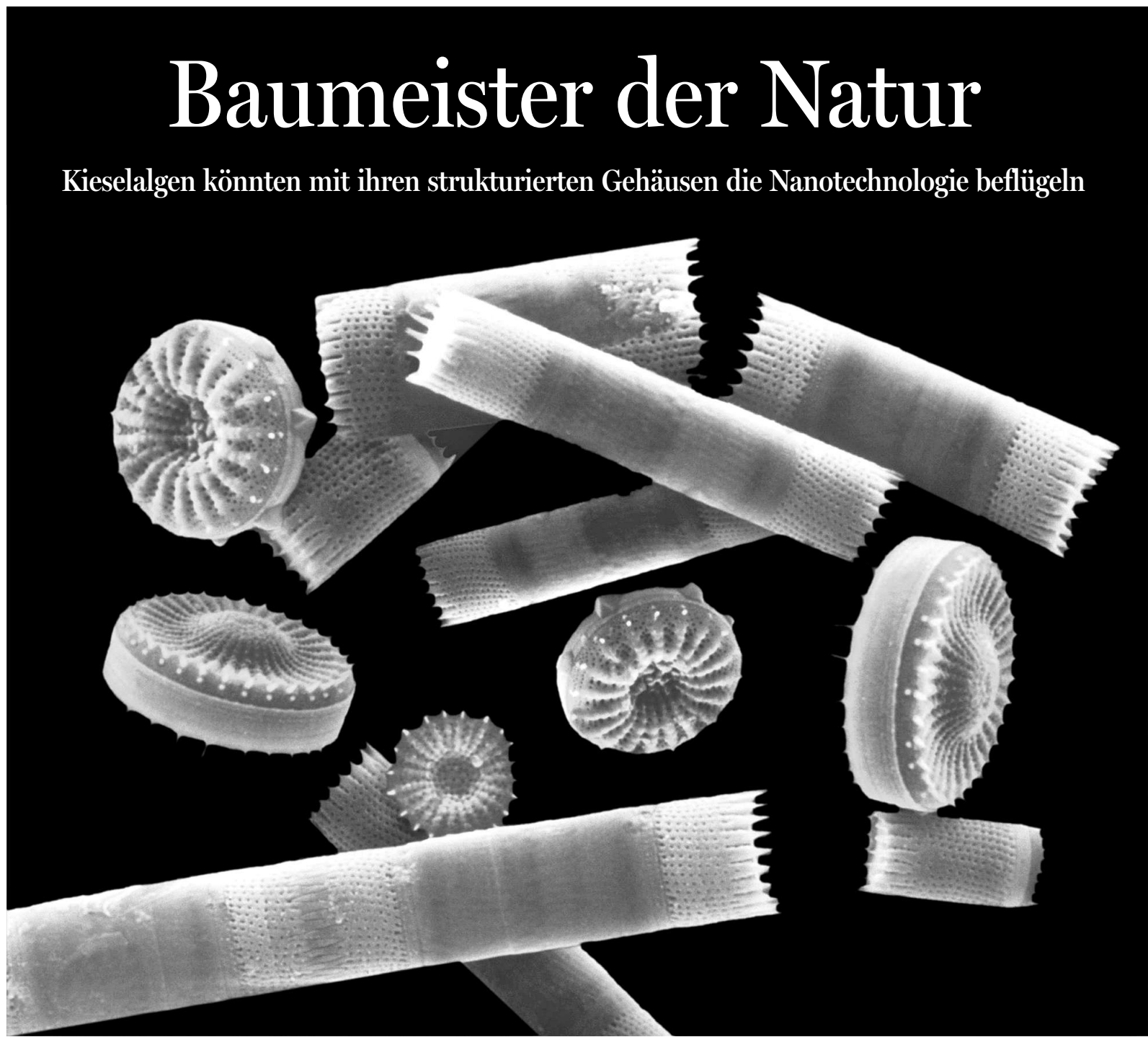
Diatomeen-Experten schätzen, dass es mehrere Zehntausend, vielleicht sogar mehr als 100 000 Kieselalgenarten im pflanzlichen Plankton der Meere, Seen und Flüsse gibt. „Und jede Art baut ihren eigenen Gehäusotyp“, sagt Richard Gordon bewundernd. Der Professor für Theoretische Physik von der Universität von Manitoba in Winnipeg ist seit Jahrzehnten Diatomeen-Liebhaber. Er hat – durch Zufall – die Diatomeen-Nanotechnologie aus der Taufe gehoben, als er 1988 in einem Vortrag vor Ingenieuren die kleinen Kieselalgen als Mikrofabriken anpries.

Die kleinsten Diatomeen-Gehäuse, auch Frusteln genannt, sind nur zwei Mikrometer groß, etwa ein Fünftel der Dicke eines Haares. Die größten erreichen Ausmaße von bis zu zwei Millimetern. Manche sind rund, andere dreieckig, einige sehen aus wie fliegende Untertassen oder Seesterne, andere haben kleine Türmchen an den Ecken. Jede Frustel ist gleichmäßig mit Poren, Stegen und anderen Strukturen überzogen, die nur wenige Nanometer (also millionstel Millimeter) klein sind. Und das ist es, was die Einzeller für die Forschung so interessant macht: Sie sind exzellente Baumeister im Nanometerbereich.

„Sie produzieren komplexe 3-D-Strukturen mit großer Genauigkeit in offenbar unendlichen Variationsmöglichkeiten“, sagt Nils Kröger vom Georgia Institute of Technology in Atlanta. Von diesem Kunststück ist die Nanotechnologie noch meilenweit entfernt. Sie gilt zwar als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts, doch so richtig in die dritte Dimension ist die Fertigung noch nicht abgehoben, findet Mark Hildebrand. „Mit den bekannten Prozessen entstehen vor allem zweidimensionale Strukturen und nur rudimentäres in 3-D“, sagt der Experte für Diatomeen-Zellwände von der Scripps Institution of Oceanography an der University of California, San Diego.

**Schneller als jede Industrie**  
Auch von der Fertigungsgeschwindigkeit der einzelligen Baumeister können menschliche Nanotechnologen nur träumen: Mehrmals am Tag teilen sich die Zellen mittels Gehäuse, das wie eine Butterbrotose aus zwei Hälften aufgebaut ist. Bei nur drei Teilungen am Tag entstehen so innerhalb von zehn Tagen mehr als eine Milliarde Zellen mit perfekt ausgearbeiteten Gehäusen in 3-D. Da kann kein industrieller Fertigungsprozess mithalten. Schon gar nicht im Nanometerbereich.

Doch von der industriellen Produktion ist auch die Kieselalgen-Nanotechnologie noch weit entfernt. „Noch gibt es keine kommerzielle Anwendung, die auf Diatomeen-Nanotechnologie basiert“, sagt Richard Gordon. Die Forschungsrichtung entwickelt sich



Komplex und unendlich variabel: Elektronenmikroskopaufnahme der Siliziumgehäuse von Kieselalgen (Pennales und Centricae).

Baumeister der Natur

Kieselalgen könnten mit ihren strukturierten Gehäusen die Nanotechnologie beflügeln

rade erst den Kinderschuhen. Erste Patente wurden angemeldet, Ideen und Visionen gibt es viele. Gordon hat sie erst kürzlich wieder in einem Artikel im Fachmagazin „Trends in Biotechnology“ zusammengefasst.

Der Fantasie scheinen keine Grenzen gesetzt: „Man könnte mit Diatomeengehäusen medizinische Wirkstoffe in den Körper einschleusen“, sagt er. Da sie wie Perlmutter irisieren, also das Licht in die Regenbogenfarben brechen, könnten sie für die Kosmetikindustrie interessant sein. Oder man nutzt sie wie photonische Kristalle als Lichtleiter in der Kommunikation oder als UV-Schutz. „Selbst Mikro-Flüssigkeiten, die sich von selbst fortbewegen, sind denkbar“, sagt Gordon. Ein Einsatz in der Silizium-Nanometerwelt der Halbleiterindustrie drängt sich geradezu auf.

Für Wissenschaftler wie Kröger oder Hildebrand, die in ihren Labors versuchen, den Einzellern die Geheimnisse der filigranen Siliziumwände zu entlocken, ist das noch Science-Fiction im wahrsten Sinne des Wortes. Sie versuchen gerade erst, eine der zentralen Fragen der Biologie zu beantworten: Wie entsteht aus einem eindimensionalen linearen genetischen Code ein mehrdimensionaler, filigran ausgearbeiteter Körper?

Die Forscher kennen zwar bereits viele der Hauptbestandteile am Gehäuseaufbau, etwa bestimmte komplexe Proteine, die es so in keinem anderen

Kieselalgen

Kohlendioxid-Wunder

Kieselalgen oder Diatomeen sind Einzeller, die in Meeren, Flüssen und Seen leben und einen Teil des pflanzlichen Planktons bilden. Sie leisten wichtige ökologische Aufgaben: Sie binden zum Beispiel so viel Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wie alle Regenwälder zusammen.

Einzellige Siliziumfabriken

Kieselalgen sind der Hauptproduzent von Silizium im Meer. Sie leben in filigranen Gehäusen aus Siliziumdioxid, den Frusteln. Die Einzeller nehmen das im Wasser gelöste Silizium auf und verarbeiten es zu porösen, aber sehr stabilen Zellwänden.

Asphalt und Zahnpasta

Prähistorische Ablagerungsschichten fossiler Kieselalgengehäuse sind teilweise mehrere Hundert Meter hoch. Aus ihnen wird der Kieselgur, die Diatomeenerde, abgebaut. Kieselgur wird verwendet als Filtermaterial, Putzkörper in Zahnpasta, in Autoreifen und Asphalt, als Schleif- und Poliermittel. Es war auch Trägermaterial für Zyklo-B, und Alfred Nobel verwendete es einst mit Nitroglyzerin zu Dynamit.

Organismus gibt. Oder die 75 Gene des Siliziumstoffwechsels. Doch noch entwickeln sie vor allem die Werkzeuge, mit denen sie die Gen-Maschinerie einmal kontrollieren wollen.

Kröger und seine Kollegin Nicole Poulsen entdeckten 2005 etwa einen Genabschnitt, den sie an- und ausschalten können, je nachdem, ob sie ihre Einzeller mit Ammonium oder Stickstoff füttern. Hildebrands Gruppe und andere arbeiten an Techniken, mit denen sie kontrollieren können, wie viel von welchem Genprodukt hergestellt werden soll. Und sie identifizieren weitere Gene, die am Aufbau der Siliziumdioxidwände beteiligt sind.

Doch die Forscher wollen nicht nur Silizium kontrolliert wachsen lassen. Sie wollen es auch nutzen. 2007 brachten Kröger und Poulsen ihre „Hausalge“ dazu, ein Enzym in ihr poröses Skelett einzubauen. Das machte das Enzym unempfindlicher gegen Hitze und organische Lösungsmittel. Solche Eiweiße seien interessant als wiederverwendbare industrielle Katalysatoren, sagt Kröger.

Kenneth Sandhage von der Ohio State University in Columbus geht dagegen einen ganz anderen Weg. In einem inzwischen patentierten Verfahren namens BaSIC ersetzt er das Siliziumdioxid Molekül für Molekül durch andere Substanzen. Ergebnis ist eine dreidimensionale Replik des ursprünglichen Kieselalgengehäuses mit all seinen Poren und Strukturen – aus Mag-

nesiumoxid, aus Titandioxid oder aus elementarem Silizium. „Die Materialien erweisen sich als äußerst effektive Gas-Sensoren oder Katalysatoren“, preist Kröger die Arbeit seines Kollegen an.

Unterfinanzierter Forschungszweig

Als nächsten Schritt wollen die Kieselalgenforscher die Nanostrukturen der Algenzellwände gezielt verändern. „Wir hoffen, eines Tages die Größe der Poren, ihre Form und die Symmetrie der Porenmuster steuern zu können“, sagt Kröger. Er gibt sich und seinen Kollegen fünf bis zehn Jahre, in denen sie wesentliche Erfolge vorweisen müssen. „Nur dann wird die Kieselalgen-Nanotechnologie eine Zukunft haben.“

Doch die Forschergemeinde im Bereich Diatomeen-Nanotechnologie ist klein. Kieselalgen waren immer ein Randthema in der Biologie, oft nur ein Hobby für Liebhaber wie Richard Gordon. Mit ein wenig Neid blicken die professionellen Forscher auf die Milliardenöpfe in anderen Forschungsbereichen. „Die Diatomeen-Nanotechnologie erhält weltweit geschätzt vielleicht eine Million Dollar pro Jahr“, sagt Kröger. Wahrscheinlich haben einige der Geldgeber noch nicht tief genug in die Mikroskope geblickt. Sonst würden sie außer der Schönheit der Glaspaläste auch erkennen, was sonst noch alles aus einer Handvoll Sand herauszuholen wäre.

Gesünder leben mit Parasiten

**DÜSSELDORF.** Ist zu viel Sauberkeit der Grund dafür, dass die Menschen in den Industrienationen immer häufiger unter Allergien leiden? Statistische Untersuchungen legen das nahe, doch der abschließende Beweis für die sogenannte Hygiene-Hypothese steht noch aus.

Britische Forscher haben sich der Frage nun auf ungewöhnlichem Weg genähert: mit einer Studie an verlausten Waldmäusen. Wie sie im Fachmagazin „BMC Biology“ berichten, hatten sie eine Gruppe dieser Tiere in einem Wald in Nottinghamshire eingefangen und systematisch untersucht.

Die wilden Mäuse der Art *Apodemus sylvaticus* waren, im Vergleich zu Labormäusen, in „natürlichem Maß“ von Parasiten befallen, berichteten die Forscher – und zwar besonders von Läusen. „Unser Verständnis von Säugetier-Immunologie beruht weitgehend auf Nagetieren, die unter höchst unnatürlichen keim- und stressfreien Bedingungen großgezogen wurden“, erklärt die Leiterin der Studie, Janette Bradley von der Universität von Nottingham, den Umstieg ihrer Kollegen auf verlauste Wildfänge.

Die gefangenen Mäuse wurden gewogen und anschließend mit einer Überdosis Chloroform getötet, um sie gründlich auf Parasitenbefall untersuchen und ihnen die Milz entnehmen zu können. Dieses Organ spielt im Immunsystem von Säugetieren eine zentrale Rolle. Die Milzzellen setzen die Wissenschaftler dann verschiedenen Substanzen aus, die die Immunantwort ankurbeln: etwa abgetöteten *Listeria*-, *Escherichia*- oder *Salmonella*-Bakterien.

Sie stellten fest, dass die Immunantwort bei den am stärksten von Läusen (*Polyplax serrata*) befallenen Tieren am schwächsten ausfiel. Offenbar gelingt es den blutsaugenden Parasiten, die Abwehrmechanismen ihrer Opfer zu unterdrücken. Wie genau die Läuse das anstellen, können die Forscher jedoch nicht sagen.

Sie sehen jedoch Parallelen zwischen ihren Waldmäusen und dem Menschen: „So ähnlich wie die Labormäuse sind auch die Menschen in den Industrieländern inzwischen einem ganz anderen Profil von Infektionen ausgesetzt als ihre Vorfahren“, heißt es in der Studie. „Gleichzeitig gibt es Anzeichen für einen anhaltenden Zusammenbruch der Immunregulation bei Menschen in industrialisierten Gesellschaften.“

Es sei möglich, spekulieren die Forscher, dass die zunehmenden Allergien und Autoimmunerkrankungen das Resultat eines Immunsystems seien, das auf ganz andere Bedrohungen ausgelegt sei.

tiw

UNSERE THEMEN
MO ÖKONOMIE
DI ESSAY
MI GEISTESWISSENSCHAFTEN
DO NATURWISSENSCHAFTEN
FR LITERATUR

Missing Link zu Robben gefunden

Ein Fossil markiert den Übergang der Meeressäuger vom Land ins Wasser

TINKA WOLF | DÜSSELDORF

Die Robben, eine Gruppe im Wasser lebender Raubtiere, haben allesamt Flossen. Ihre Vorfahren jedoch lebten an Land – vermutlich sind die Meeressäuger, die auch unter dem Begriff Flossenfüßer zusammengefasst werden, entfernt mit den Bären verwandt.

Wissenschaftler vom Carnegie Museum of Natural History in Pittsburgh und vom Kanadischen Naturmuseum in Ottawa haben nun ein fehlendes Bindeglied der Robben-Evolution gefunden. Wie sie in der aktuellen Ausgabe von „Nature“ berichten, entdeckten sie im Jahr 2007 auf der Devon-Insel im arktischen Teil Kanadas das fast vollständig erhaltene Skelett eines Raubtieres, das sie *Puijila darwini* taufen.

„Das außergewöhnlich gut erhaltene Skelett von *Puijila* hatte kräftige Gliedmaßen, die auf gut entwickelte Muskeln hinweisen, und abgeflachte Fingerglieder, die vermuten lassen, dass die Füße Schwimmhäute hatten“, erklärt Mary Dawson vom Carnegie-Museum, die an der Studie beteiligt war. „Dieses Tier konnte vermutlich ebenso gut

schwimmen wie laufen.“ Im Gegensatz zu heutigen Robben verbrachte *Puijila* offenbar nur einen Teil seiner Zeit im Wasser. Der Körperbau der „laufenden Robbe“ ähnelte den heutigen Ottern, das Tier hatte jedoch bereits eine robbenähnliche Kopfform.

Laut Angaben der Forscher stammt das Fossil aus dem frühen Miozän und ist etwa 21 Millionen Jahre alt. Als ältester bekannter Vorfahre der Robben galt bisher *Enaliarctos*, der allerdings bereits Flossen hatte. „*Pui-*

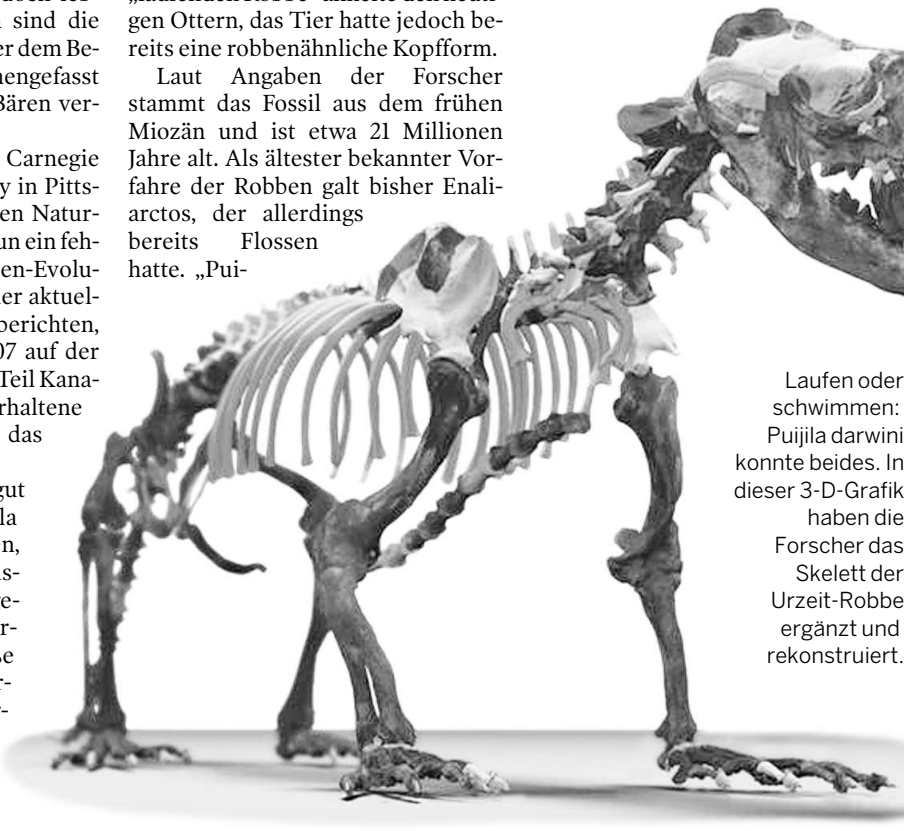
*jila* ist der erste fossile Beleg dafür, dass frühe Flossenfüßer in der Arktis lebten“, sagt Natalia Ryzbczynski vom Kanadischen Naturmuseum. „Das

Fossil ist wichtig, weil es uns einen ersten Einblick in das früheste Stadium des evolutionären Übergangs vom Land ins Wasser gewährt“, so die Paläontologin. Der Fund deutet außerdem darauf hin, dass die Flossenfüßer in ihrer Evolution auch eine Süßwasser-Phase durchgemacht hätten.

*Puijila* selbst, so spekulieren die Forscher, könnte auf der Suche nach Futter im Winter bereits über Land bis ans Meer gewandert sein. Auf der Devon-Insel herrschte zu seinen Lebzeiten vermutlich ein kühles Küstenklima.

Den Namen des Fossils haben die Forscher – wie üblich – mit Bedacht gewählt: Während das Wort „*Puijila*“ aus der Sprache der Inuit stammt und so viel bedeutet wie „junger Meeressäuger“, wurde der Artname „*darwini*“ dem Begründer der Evolutionstheorie gewidmet. Charles Darwin nämlich hatte als Erster vermutet, dass die Meeressäugtiere einst an Land gelebt hatten. Er glaubte, die Tiere hätten zunächst im Flachwasser von Seen und Flüssen gejagt und seien nach und nach zum reinen Wasserleben übergegangen. *Puijila darwini* scheint dem großen Naturforscher recht zu geben.

Laufen oder schwimmen: *Puijila darwini* konnte beides. In dieser 3-D-Grafik haben die Forscher das Skelett der Urzeit-Robbe ergänzt und rekonstruiert.



Klare Luft heizt Klima auf

Ein Dilemma: Weniger Abgase lassen Pflanzen auch weniger CO<sub>2</sub> aufnehmen

DÜSSELDORF.

Die „globale Verdunkelung“ durch die Industrie hat offenbar auch ihre gute Seite. Pflanzen können offenbar mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen, wenn der Anteil der Rückstände (Aerosole) aus der Verbrennung von Holz, Gas, Öl oder Kohle höher und dadurch die diffuse Sonneneinstrahlung stärker ist. Das schreiben Ökologen und Klimatologen aus Großbritannien und der Schweiz in der Fachzeitschrift „Nature“. Daraus folgt, wenn das Modell der Forscher zutreffend ist, ein Dilemma: Der Kampf gegen die Luftverschmutzung schadet dem Klimaschutz.

Das Aerosole das Klima abkühlen und Wolken heller machen, ist schon lange bekannt, aber die Studie entwirft erstmals ein weltweites Modell zur Schätzung des Nettoeffektes der Luftverschmutzung auf die Kohlenstoff-Aufnahme der Pflanzen.

Unter diffuser Sonneneinstrahlung versteht man jenen langwelligeren Teil der auf die Erdoberfläche eintreffenden Sonnenstrahlung, der mit der Erdatmosphäre wechselwirkt, also auf Hindernisse stößt und von diesen „diffundiert“, das heißt, in Bezug auf Ausbreitungsrichtung, Strahlstärke, Wellenlänge und/oder Frequenz verändert wird. Die Zu-

nahme der mikroskopisch kleinen Partikel in der Atmosphäre durch Verbrennungen und die vermehrte Bewölkung unter anderem durch Kondensstreifen von Flugzeugen verursachen die sogenannte „globale Verdunkelung“ („global dimming“), also die weltweite Verringerung des Sonnenlichts in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Pflanzen können, wie die Wissenschaftler jetzt herausgefunden haben, bei verstärkter diffuser Einstrahlung trotz der verringerten Gesamteinstrahlung mehr von dem vorhandenen Sonnenlicht durch Photosynthese in ihr Wachstum umsetzen und damit auch mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufnehmen. Kohlenstoffverbindungen bilden die molekulare Grundlage aller Pflanzen und allen irdischen Lebens.

Der Grund für das verstärkte Wachstum der Pflanzen unter den Bedingungen der globalen Verdunkelung ist, dass diffuses Licht nicht direkt von der Sonne kommt, sondern aus verschiedenen Richtungen, und die Blätter der Pflanzen daher seltener ganz im Schatten liegen.

Dieses Phänomen sei auch im Alltag zu belegen, schreiben die Forscher: „Viele Menschen glauben zwar, dass gut gewässerte Pflanzen am besten an einem klaren, sonnigen

Tag wachsen, aber das Gegenteil trifft zu. Pflanzen gedeihen oft unter diesen Bedingungen, wie etwa in Perioden starker Luftverschmutzung“, sagt Mitautor Stephen Stith vom Met Office Hadley Centre in Exeter.

„Offenbar haben die Effekte der Verschmutzung der Atmosphäre die weltweite Produktivität der Pflanzen zwischen 1960 und 1999 um rund ein Viertel erhöht. Das Ergebnis ist, wenn man andere Effekte mit einbezieht, ein Anstieg der Menge des an Land eingelagerten Kohlenstoffs um zehn Prozent“, sagt die Hauptautorin der Studie, Lina Mercado vom Centre for Ecology and Hydrology in Wallingford.

Für den Kampf gegen den Klimawandel bedeuten die Erkenntnisse nach Ansicht der Forscher eine Aufforderung zu noch größeren Anstrengungen bei der Reduzierung der Kohlendioxid-Emission: „Wenn wir weiter die Luft in der niedrigen Atmosphäre sanieren, was wir im Sinne der menschlichen Gesundheit tun müssen, dann wird die Herausforderung noch größer, einen gefährlichen Klimawandel durch Verringerung des Ausstoßes von CO<sub>2</sub> zu verhindern“, schreibt Peter Cox, Mitautor und Klimatologe an der Universität Exeter. *fk*