

NANOTECHNIK

U-Boot aus 244 Atomen

Wissenschaftler der Rice University (Houston, USA) haben ein Molekül aus 244 Atomen konstruiert, das sich wie ein U-Boot durchs Wasser bewegt. Angetrieben wird es von UV-Licht. Ein Teil des Moleküls funktioniert wie ein Rotor, der durch Drehung Vortrieb erzeugt, vergleichbar den (größeren) Flagellen von Bakterien.

Der Rotor ist über eine Doppelbindung mit dem Rest des Moleküls verbunden. Nach Anregung durch ein UV-Lichtquant vollzieht er eine Vierteldrehung. Weil ihn das in eine energetisch ungünstigere Position bringt, springt er anschließend eine Vierteldrehung weiter, und zwar wegen der Chiralität des Moleküls in die gleiche Drehrichtung. Der Vorgang wiederholt sich so lange, wie UV-Licht einfällt.

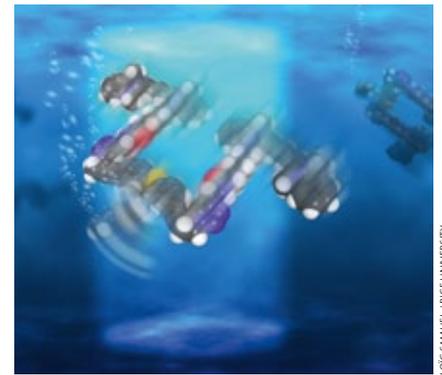
Jede volle Rotordrehung bringt das Molekül 18 Nanometer (milliardstel Meter) voran. Mit mehr als einer

Million Umdrehungen pro Sekunde bewegen sich die Moleküle damit deutlich schneller als nur durch passive Diffusion, die von thermischen Stößen der Umgebung angetrieben wird. Allerdings lässt sich die Bewegung nicht steuern und folgt somit einem Zufallspfad.

Konkrete Anwendungen für das monomolekulare Gefährt sind noch nicht in Sicht. Am ehesten kommt es für medizinische Zwecke in Frage. Im Juli dieses Jahres entwickelte ein anderes Team aus einem Nanomotor ein neues Krebsmedikament. Der Wirkstoff enthält eine Stickstoffdoppelbindung, die zwei Molekülteile

voneinander trennt und so ihre Aktivierung verhindert. Bei Lichteinfall löst sich die Bindung und erlaubt den Molekülteilen, sich in den aktiven Zustand zu drehen. Dadurch wird es möglich, das Medikament durch gezielte Beleuchtung nur in bestimmten Körperregionen wirken zu lassen.

Nano Lett. 10.1021/acs.nanolett.5b03764, 2015



Künstlerische Darstellung des einmolekularen Gefährts. Der Rotor befindet sich mittig am »Quersteg« (vorn im Bild).



Mehr Aktualität!

Auf **Spektrum.de** berichten unsere Redakteure täglich aus der Wissenschaft: fundiert, aktuell, exklusiv.

RAUMFAHRT

Neue Aufgabe für verirrte Satelliten

Eine fehlerhafte Raketenstufe der europäischen Weltraumorganisation ESA hat zwei Satelliten für das Navigationssystem Galileo in die falsche Umlaufbahn geschossen. Statt die Geräte aufzugeben, funktioniert die ESA sie zu Messstationen um, die Einsteins Relativitätstheorie mit bisher unerreichter Genauigkeit testen.

Die Satelliten haben hochpräzise Atomuhren an Bord. Forscher wollen prüfen, ob diese Uhren in weiter entfernten Bereichen des irdischen Schwerfelds wirklich schneller gehen, wie es die Relativitätstheorie vorhersagt. Auf ihren ungewollt elliptischen Bahnen ändern die Galileo-Satelliten ihren Abstand zur Erde zweimal täglich um einen Betrag von etwa 8500 Kilometer. Ihre Position lässt sich dabei mit Lasern auf wenige Zentimeter genau bestimmen. Das eröffnet die

Möglichkeit festzustellen, wie das Gangtempo der Uhren von der Distanz zur Erdoberfläche abhängt.

Bereits 1976 hatte die NASA einen ähnlichen Test durchgeführt. Im Rahmen der Satellitenmission Gravity Probe A hatten Wissenschaftler verglichen, wie schnell Uhren auf der Erde beziehungsweise in 10000 Kilometer Höhe gehen. Das knapp zweistündige Experiment bestätigte die Relativitätstheorie. Im Gegensatz dazu werden die Galileo-Satelliten ein ganzes Jahr lang messen und viermal genauere Messergebnisse liefern. Möglicherweise lassen sich damit Abweichungen von Einsteins Theorie erkennen, die auf ein neues Modell hindeuten, in dem sich Quanten- und Gravitationstheorie vereinen.

Classical Quant. Grav. 32, 232003, 2015

30 Generationen ohne Sex

Obwohl Marmorkrebse (*Procambarus fallax* forma *virginalis*) bereitwillig kopulieren, können sie ohne Partner Nachkommen hervorbringen. Diese überraschende Beobachtung machten Aquarianer schon vor Jahren. Nun haben Biologen um Frank Lyko vom Deutschen Krebsforschungszentrum (Heidelberg) in umfangreichen genetischen Analysen bestätigt, dass die Tiere eine eigenständige, sich asexuell vermehrende Spezies darstellen.

Marmorkrebse kommen weltweit vor und treten, soweit bekannt, nie als Männchen auf. Lyko und sein Team haben das Erbmateriale zahlreicher Exemplare untersucht. Dabei stellten sie fest, dass die Krebse allesamt genetisch identisch sind und offenbar von einem einzigen Individuum abstammen. Mit anderen Worten: Sie sind Klone.

Die Forscher vermuten, eine plötzliche Temperaturänderung vor 20 bis 30 Generationen könne dafür gesorgt haben, dass sich die Eizellen eines Everglades-Sumpfkrebseweibchens nicht richtig teilten. Infolgedessen sei ein Jungtier entstanden, das einen dreifachen Chromosomensatz, also überzählige Chromosomen besaß. Es habe sich ungeschlechtlich vermehrt und so alle späteren Marmorkrebse hervorgebracht. Überzählige Chromosomen kommen in der Natur zwar häufig vor, in der Regel können die betroffenen Organismen aber keine Nachkommen in die Welt setzen.

Wie die Analysen der Forscher weiter zeigten, ist die DNA von Marmorkrebsen deutlich weniger methyliert als



Marmorkrebse treten vielerorts als invasive Art auf – vor allem in Deutschland. Als Konkurrenten und Krankheitsüberträger bedrohen sie heimische Krebsarten wie den Edelkrebs.

die ihrer Vorgängerspezies *Procambarus fallax*. Demnach haben epigenetische Mechanismen offenbar eine große Rolle beim Abspalten der neuen Art *Procambarus fallax* f. *virginalis* gespielt.

Biology Open 4, S. 1583–1594, 2015

Schmelzen der arktischen Eisdecke setzt Methan frei

Die jährliche Eisschmelze in der Arktis befördert große Mengen des Treibhausgases Methan in die Atmosphäre. Das berichten Ellen Damm und ihre Mitarbeiter vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven. Ihre Erkenntnis haben sie auf einer Expedition mit dem Forschungsschiff »Polarstern« gewonnen.

Die arktische Eisdecke und das darunterliegende Wasser sind stark mit Methan übersättigt, weil Mikroben dort unter anaeroben Bedingungen organisches Material abbauen, wobei Methan entsteht. Ein kleiner Teil des Gases löst sich im Wasser unter dem Eis; das meiste wird beim Gefrieren in kleinen Blasen eingeschlossen. Während des arktischen Winters ist die Eisdecke geschlossen und undurchlässig für Methan, weshalb das Gas nicht in die Atmosphäre übertritt.

Im arktischen Sommer jedoch setzt seit einigen Jahren eine umfassende Schmelze ein. Das im Eis eingeschlossene

Methan geht dabei ins oberflächennahe Wasser über. Dort bleibt es, weil sich auf Grund der Erwärmung von oben und des Eintrags von Schmelzwasser eine stabile Wasserschichtung einstellt. Im Herbst, wenn die Temperaturen fallen, kühlt der Ozean aus und es entstehen Konvektionsströme, die methanübersättigtes Wasser an die Oberfläche befördern, wo das Gas in die Atmosphäre entweicht. Dort ist es als Treibhausgas etwa 30-mal so wirksam wie Kohlendioxid. Erst die Bildung einer neuen Eisdecke beendet den Prozess.

Dem komplizierten Mechanismus kamen die Forscher durch Messungen im arktischen Ozean auf die Spur. Dabei bestimmten sie Temperaturen ebenso wie Salz-, Sauerstoff- und Methangehalte in verschiedenen Wassertiefen sowie im Eis und führten Kohlenstoffisotopmessungen durch, um mikrobielle Stoffwechselaktivitäten zu untersuchen.

Sci. Rep. 5, 16179, 2015

ARCHÄOLOGIE

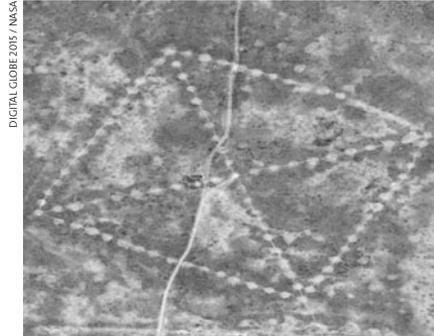
Rätselhafte Erdbauten in Kasachstan

In Nordkasachstan finden sich gewaltige Erdwerke, die Ausdehnungen von mehreren hundert Metern besitzen. Das größte Gebilde besteht aus 101 Hügeln, jeder etwa einen Meter hoch und etliche Meter im Durchmesser. Zusammen ergeben sie ein Rechteck mit Diagonallinien, das mehrere Fußballfelder einnimmt – das so genannte Viereck von Ushtogay. Andere Erdwerke sehen wie Linien, Ringe oder Kreuze aus. Sogar eine dreiarmlige Swastika ist dabei.

Der kasachische Ökonom und Hobbyarchäologe Dimitri Dey stieß erstmals im Jahr 2007 auf die Anlagen. Als er Google-Earth-Aufnahmen untersuchte, fielen sie ihm zufällig auf. Mittlerweile haben er und andere Forscher mindestens 260 weitere in Nordkasachstan entdeckt. Dabei

erhielten sie Unterstützung von der NASA, die Satellitenfotos von der Region zur Verfügung stellte.

Dey hat bereits eine Forschungs-expedition zum Viereck von Ushtogay geleitet. Dabei gruben die Wissenschaftler einige Hügel auf. Menschliche Überreste waren nicht darin, es handelt sich also offenbar nicht um



DIGITAL GLOBE 2015 / NASA

Gräber. In der Nähe des Erdwerks fanden sich die Reste einer jungsteinzeitlichen Siedlung.

Thermolumineszenzdatierungen haben ergeben, dass die Gebilde wohl aus vorchristlicher Zeit stammen. Die ältesten könnten bis zu 8000 Jahre alt sein und in Verbindung mit der steinzeitlichen Mahandzhar-Kultur stehen. Ihr Bau muss einen gewaltigen Aufwand erfordert haben. Wozu sie dienten, ist noch unbekannt.

New York Times, S. D2, 3. November 2015

Das »Viereck von Ushtogay« ist nach einem nahen Dorf benannt. Mehr als 100 Erdhügel bilden hier ein Quadrat mit 280 Meter Seitenlänge und Diagonallinien. Die Hügel waren einst wohl zwei bis drei Meter hoch, heute ist es etwa ein Meter.

PHYSIK

Wie Ballone platzen

Pralle Luftballons zerplatzen anders als schwach aufgeblasene, haben Sébastien Moulinet und Mokhtar Adda-Bedia von der École Normale Supérieure in Paris herausgefunden. Bei geringem Druck auf die Ballonhaut reicht ein einzelner Riss, um die angestaute Energie abzugeben. Steht die Hülle jedoch unter hoher Spannung, verzweigt sich der Riss mehrfach.

Im Labor verwenden die Forscher Gummimembranen, die sie auf verschiedene Größen aufblasen. Anschließend stechen sie mit einer Klinge darauf ein. Mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitskameras haben sie festgestellt, dass die Spannung in der Hülle darüber entscheidet, wie der Ballon birst. Dabei spielen neben dem Innendruck auch die Dicke und die

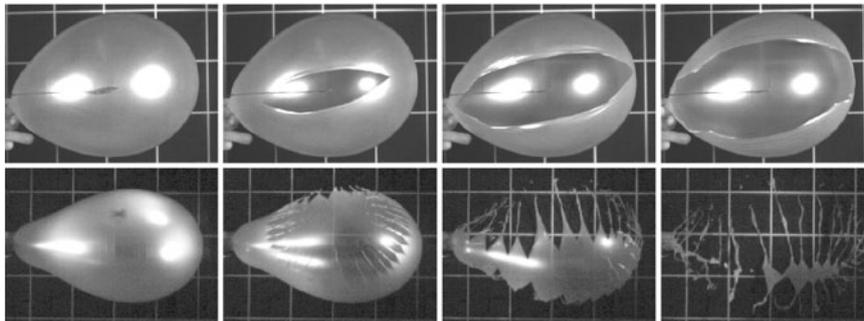
Krümmung der Membran eine Rolle. Je höher die Spannung, umso rascher breitet sich ein Riss aus. Oberhalb einer bestimmten Ausbreitungsgeschwindigkeit wird das System allerdings instabil. Nun verzweigt sich der Riss, und die dabei entstehenden Äste laufen strahlenförmig vom Einstichloch nach außen.

Ist der Ballon kugelförmig, erinnern seine zerplatzten Überreste an einen Kraken – mit umso mehr Armen, je höher die Spannung in der Hülle war. Handelsübliche Luftballons haben demgegenüber meist eine längliche Form. Sie ähneln nach dem Bersten mehr einem Gerippe.

In etlichen anderen Materialien treten ähnliche Rissmuster auf. Deshalb lassen sich die Erkenntnisse auch auf sie anwenden, beispielsweise um zu untersuchen, wie es zu Materialversagen kommt.

Phys. Rev. Lett. 115, 184301, 2015

SEBASTIEN MOULINET & MOKHTAR ADDA-BEDIA, LABORATOIRE DE PHYSIQUE STATISTIQUE, ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE, PARIS



Steht die Hülle eines Ballons unter geringer Spannung, wächst sich ein Riss darin in die Länge aus, während der Inhalt entweicht (obere Bildreihe). Bei hoher Spannung hingegen entstehen viele zusätzlich Risse, die strahlförmig auseinanderlaufen (untere Reihe).

DAS MEER BLÜHT AUF

Mit dem Frühling auf der Südhalbkugel lässt die zunehmende Sonneneinstrahlung in den Ozeanen große Algenteppiche wachsen. Am 16. November 2015 blickte ein amerikanischer Umweltsatellit auf ein wolkenfreies Gebiet des Südatlantiks östlich der Falklandinseln. Die Aufnahme zeigt durch Strömungen verwirbeltes Phytoplankton über einen Bereich von mehr als 1000 Kilometern.

