

SPEKTROGRAMM

SCHACHT IN DIE UNTERWELT

▶ Im ägyptischen Abusir haben Archäologen eine außergewöhnliche Grabanlage frei gelegt. Von einer quadratischen Grube gehen ein großer und mehrere kleine Schächte ab. Ersterer misst 6,5 mal 3,3 Meter und führt 16 Meter hinunter. An seinem Grund steht ein Doppelsarkophag. Es ist die Ruhestätte von Wahibre-meri-Neith, einem militärischen Befehlshaber aus der Zeit um 500 v. Chr.

Von der Mumie des Verstorbenen fehlt jede Spur. Wahrscheinlich haben Grabräuber sie mitgenommen, nachdem sie den Doppelsarkophag aufgebrochen hatten. Wie die Forscher um Miroslav Barta von der Prager Karls-Universität vermuten, geschah der Einbruch im 4. oder 5. Jahrhundert n. Chr. Das legen zwei Gefäße aus jener Zeit nahe, die im Schacht lagen.

In den Sarkophagen selbst entdeckten die Archäologen nur wenige Beigaben – nebedran jedoch unter anderem zwei Kisten mit 402 Uschebtis. Das sind Helferfiguren, die dem Verstorbenen im Jenseits diverse Arbeiten abnehmen sollten. Zudem ist der innere Sarkophag mit Sprüchen aus dem ägyptischen Totenbuch beschriftet. Sie sollten dem Verstorbenen den Weg durch die Unterwelt erklären.

*Pressemitteilung der Prager Karls-Universität,
15. 7. 2022*



RAUMFAHRT EIN GUTER PLATZ FÜR MONDSTATIONEN?

► In der Region Mare Tranquillitatis nahe dem Mondäquator gibt es Bodenvertiefungen und möglicherweise Höhlen, in denen relativ gleich bleibend um die 17 Grad Celsius herrschen könnten. Das berichten der Geophysiker Tyler Horvath von der University of California in Los Angeles und sein Team. Damit könnten diese Orte vielleicht künftigen Forschungsbasen einen Platz bieten.

Die offene Mondoberfläche weist Temperaturschwankungen zwischen minus 170 und plus 150 Grad Celsius auf. Ein Mondtag dauert fast 15 Erdtage, was bei andauernder Sonneneinstrahlung zu immenser Aufheizung führt; umgekehrt kühlt es sich in einer Mondnacht mit entsprechend langer Dunkelphase überaus stark ab. Für den Betrieb einer Mondstation stellt das eine enorme Herausforderung dar.

Krater oder Höhlen, in denen kein so extremes Auf und Ab herrscht, bieten eventuell bessere Standorte für eine Mondstation. Die Bodenvertiefungen im Mare Tranquillitatis sind seit 2009

SCHATTENWELT Ein Mondkrater im Mare Tranquillitatis, auf dessen Grund teilweise Finsternis herrscht.

bekannt. Forscher vermuten schon länger, dass sie mit Höhlen verbunden sein könnten, die einen gewissen Schutz vor den harschen Bedingungen bieten. 16 der bisher bekannten rund 200 Gruben sind laut Horvath wahrscheinlich eingestürzte Lavaröhrengänge. Manche bieten Schatten spendende Überhänge; einer scheint in einen großen Hohlraum zu führen.

Horvath und sein Team analysierten Wärmebilder, welche die NASA-Mondsonde »Lunar Reconnaissance Orbiter« aufgenommen hatte. Diese werteten sie mit einem Computermodell unter Berücksichtigung der entsprechenden Wärmekapazitäten aus. Laut den Ergebnissen schwanken die Temperaturen in dauerhaft beschatteten Vertiefungen nur geringfü-

gig und bleiben im Schnitt gemäßigt. Das könnte ebenso für angeschlossene Höhlensysteme gelten, vermuten die Forscher. Zudem böten unterirdische Hohlräume einen gewissen Schutz vor kosmischer Strahlung und kleinen Meteoriten.

Nicht jeder Mondkrater eignet sich freilich als Ort für eine Mondbasis. Manche sind so tief und dunkel, dass nie Sonnenlicht hineinfällt. In ihnen ist es mit geschätzt minus 200 Grad Celsius so kalt, dass Wasser dort in steinhart gefrorener Form überdauern kann. Falls es wirklich solche Eisvorkommen gibt, könnten sie wiederum Trinkwasser für eine Mondstation liefern.

Geophysical Research Letters
10.1029/2022GL099710, 2022

ÖKOLOGIE KLIMAWANDEL VERBREITET INFEKTIONSKRANKHEITEN

► Der Klimawandel fördert die Verbreitung der meisten Krankheitserreger, die dem Menschen gefährlich werden können. Zu diesem Ergebnis kommt ein Forschungsteam um Camilo Mora von der University of Hawaii. Die systematische Auswertung einschlägiger empirischer Studien belegt demnach: Von rund 300 untersuchten Infektionskrankheiten werden 78 Prozent klimabedingt in ihrer Ausbreitung verstärkt, 19 Prozent werden – abhängig von den jeweiligen Bedingungen – entweder verstärkt oder abgeschwächt und nur drei Prozent werden ausschließlich abgeschwächt. Das geschehe durch die Erwärmung an sich, aber auch durch extreme Wetterphänomene wie

Dürren, Überschwemmungen oder Hitzewellen.

Die Forscher fanden mehr als 1000 Pfade, über die Klimafaktoren auf Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Pflanzenpollen oder Pilze einwirken. Wetterextreme beispielsweise schwächen über Stress oder Mangelernährung das menschliche Immunsystem und erhöhen die Infektionsanfälligkeit. Dürren wiederum sorgen dafür, dass Mensch und Tier enger zusammenleben, was die Gefahr von Zoonosen erhöht. Besorgt blicken die Experten vor allem auf Erreger, die von so genannten Vektoren wie Mücken und Zecken verbreitet werden. Etliche dieser Überträger wandern infolge der weltweiten Erwär-

mung in neue Verbreitungsgebiete ein und nehmen dabei ihre Keime mit.

Auch in Deutschland führt der Klimawandel zur Ausbreitung von Vektoren, beispielsweise Asiatischen Tigermücken und *Hyalomma*-Zecken. Viele davon transportieren virale, bakterielle und parasitäre Erreger – unter anderem Zika-, Dengue-, Chikungunya- und Krim-Kongo-Viren. Fachleute befürchten zudem eine Rückkehr der Malaria, die von einzelligen Parasiten hervorgerufen wird.

Das Team um Mora hält angesichts dieser Risiken »aggressive Maßnahmen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen« für nötig.

Nature Climate Change 10.1038/s41558-022-01426-1, 2022

BIOPHYSIK WARUM *T. REX* SO KLEINE AUGEN HATTE

► Fleisch fressende Dinosaurier wie *Tyrannosaurus rex* hatten Augen, die bezogen auf ihren Kopfumfang winzig erscheinen. Hierfür gab es handfeste Gründe, wie der Paläobiologe Stephan Lautenschlager von der University of Birmingham schreibt. Die Augenhöhle (die Schädelgrube, in der das Auge liegt) war bei diesen Tieren eingengt und verkleinert, was mit einem gering dimensionierten Augapfel und einer hohen mechanischen Belastbarkeit des Schädels einherging. Infolgedessen konnten sie enorm kraftvoll zubeißen.

Lautenschlager untersuchte Fossilien diverser Saurierarten des Erdmittelalters. Dabei zeigte sich: Die frühen Spezies besaßen überwiegend kreisrunde oder elliptische Augenhöhlen. Im späten Erdmittelalter jedoch erschienen Arten wie *T. rex*, bei denen die Schädelgruben wie Schlüsselöcher geformt waren. Diese Gestalt-

änderung trat bei Tieren auf, deren Kopf mehr als einen Meter lang war, und betraf nahezu ausschließlich Fleischfresser.

Mit Computermodellen berechnete Lautenschlager die Kräfte im Knochen, wenn Druck- und Zugbelastungen auf die Struktur des Dinosaurierschädels einwirkten. Hierbei nahm er für die Augenhöhlen unterschiedliche Formen an und kalkulierte jeweils die mechanischen Spannungen. Schädel mit schlüssellochförmigen Öffnungen schnitten besser ab – egal ob sie senkrecht oder waagrecht gequetscht oder verbogen wurden.

Berechnungen speziell für den Körperbau des *T. rex* ergaben: Dank seiner eingengten Augenhöhlen verringerte sich der mechanische Stress im Knochengewebe, wenn das Tier zubiess. Im damaligen Alltag war das wohl dringend nötig: Der Fleischfresser schloss seine Kiefer schät-



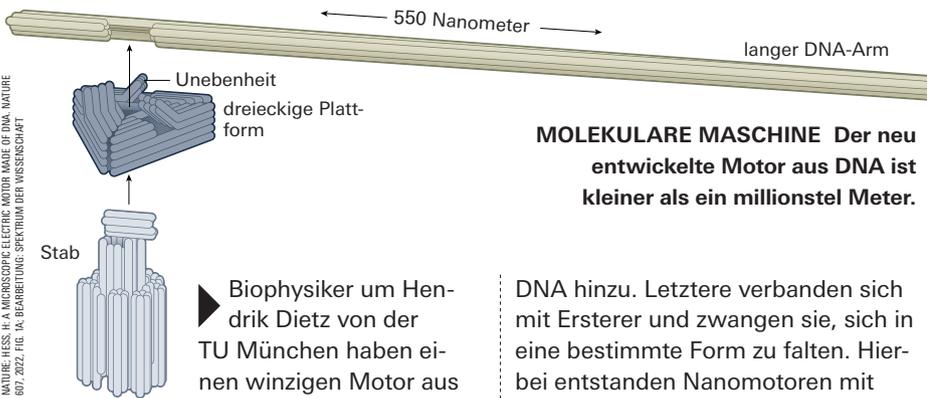
STEPHAN LAUTENSCHLAGER, UNIVERSITY OF BIRMINGHAM

AUGENMASS Schädelform (oben) und rekonstruiertes Aussehen (unten) des *T. rex*. Links: Originaler Schädel mit schlüssellochförmiger Augenhöhle; der Augapfel beanspruchte darin nur die obere Ausbuchtung und war deshalb relativ klein. Rechts: Hypothetischer Schädel mit kreisrunder Augenhöhle, die proportional mit dem übrigen Organismus mitgewachsen ist; das Auge fällt erheblich imposanter aus.

zungsweise acht- bis zehnmals kraftvoller als heutige Krokodile. Pro Zahn entsprach das einem Gewicht von mehreren Tonnen.

Communications Biology 10.1038/s42003-022-03706-0, 2022

BIOTECHNOLOGIE WINZIGER MOTOR KOMPLETT AUS DNA



MOLEKULARE MASCHINE Der neu entwickelte Motor aus DNA ist kleiner als ein millionstel Meter.

► Biophysiker um Hendrik Dietz von der TU München haben einen winzigen Motor aus DNA-Strängen gebaut. Er speichert kurzzeitig Energie, indem er eine DNA-»Feder« aufwickelt. Damit könnten sich Nanofabriken für die chemische Synthese oder zielgerichtete Verabreichung von Medikamenten konstruieren lassen.

Dietz' Team züchtete einzelsträngige DNA in Bakterien heran und gab sie zu kurzen Strängen synthetischer

DNA hinzu. Letztere verbanden sich mit Ersterer und zwangen sie, sich in eine bestimmte Form zu falten. Hierbei entstanden Nanomotoren mit Ratschenmechanismen, ähnlich Uhrwerken, die Drehungen nur in eine Richtung zulassen. Angetrieben werden sie von der brownischen Molekularbewegung – dem ständigen zufallsbedingten und temperaturabhängigen Herumflitzen von Molekülen und anderen kleinen Teilchen.

Die Motoren enthalten je eine dreieckige Plattform aus DNA, 30 mal

40 Nanometer (milliardstel Meter) groß, aus deren Mitte eine Art Stab ragt. Lange DNA-Arme sind so daran befestigt, dass sie sich um den Stab drehen können. Um einen Ratscheneffekt zu erzeugen, besitzt die Plattform mehrere Unebenheiten. Die von der brownischen Bewegung übertragenen Stöße ermöglichen es den Armen, diese Hindernisse zu überwinden. Eine angelegte Wechselspannung verändert fortlaufend die Energielandschaft, der die Arme ausgesetzt sind, und begünstigt so eine der beiden möglichen Drehrichtungen.

Wie das Team zeigte, lässt sich ein zusätzlicher DNA-Strang am Rotor befestigen, den die Drehbewegung wie eine Spiralfeder aufrollt. Die dabei gespeicherte Energie kann dazu dienen, weitere molekulare Vorgänge anzutreiben.

Nature 10.1038/s41586-022-04910-y, 2022

NATURE, HESS, H. A. MICROSCOPIC ELECTRIC MOTOR MADE OF DNA. NATURE 607, 2022, FIG. 1A. BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

ASTROPHYSIK MAGNETFELD DER SUPERLATIVE

► In rund 22000 Lichtjahren Entfernung von der Erde kreist ein Neutronenstern, dessen Magnetfeld alles bisher Bekannte in den Schatten stellt. Seine Feldstärke beträgt 1,6 Milliarden Tesla – zum Vergleich: Handelsübliche Hufeisenmagneten bringen es auf 0,1 Tesla, leistungsstarke MRT-Geräte auf 3 Tesla. Eine Arbeitsgruppe um Ling-Da Kong von der Chinesischen Akademie der Wissenschaften beobachtete das Objekt im Bereich der Röntgenstrahlung und ermittelte so seine Eigenschaften.

Der Himmelskörper gehört zu einem Doppelsternsystem namens J0243.6+6124. Astronomen entdeckten es 2017 als Ursache eines extrem hellen und energiereichen Strahlenausbruchs. Analysen ergaben, dass es sich bei dem Neutronenstern um einen ultraleuchtstarken Pulsar handelt. Von seinem Begleitstern fällt Materie auf ihn.

Um den Pulsar näher zu untersuchen, nahm das Team ihn in den Fokus des chinesischen Röntgenteleskops Insight-HXMT. Die dabei gewonnenen Daten zeigen eine auffällige Absorptionslinie im Röntgenspektrum der Pulsarstrahlung. Zudem weist das Spektrum charakteristische Merkmale einer so genannten Zyklotron-Reso-

nanzstreuung auf. Dazu kommt es, wenn Elektronen im Magnetfeld eines Himmelskörpers beschleunigt werden. Treffen sie auf Röntgenstrahlen, absorbieren sie diese zum Teil. Die Lage der Absorptionslinie verrät etwas über die Flussdichte des Magnetfelds nah am Pulsar.

Kong und Co maßen diesbezüglich extrem hohe Werte, was auf ein gigantisches Magnetfeld hinweist. Astronomen haben bislang nichts Vergleichbares beobachtet. Weitere Untersuchungen belegen, dass der Pulsar kein zweipoliges Magnetfeld wie die Erde besitzt, sondern ein mehrpoliges.

The Astrophysical Journal Letters
10.3847/2041-8213/ac7711, 2022

PHYSIKALISCHE CHEMIE MOLEKULARE WASSERSTRUKTUR DIREKT ABGEBILDET

► Zwei Besonderheiten der Wasserstruktur, die auch die Produktion von grünem Wasserstoff betreffen, haben Fachleute nun erstmals mit einem Mikroskop abgebildet. Ye Tian von der Universität Peking und sein Team haben Rasterkraftmikroskopauf-

nahmen angefertigt, die so genannte Zundel- und Eigendefekte zeigen. Das sind Abweichungen im regelmäßigen Netzwerk, zu dem sich Wassermoleküle zusammenlagern. Verursacht werden sie von frei beweglichen Protonen.

Wie die Arbeitsgruppe berichtet, treten diese Strukturdefekte auf Gold- beziehungsweise Platinelektroden unterschiedlich häufig auf. Sie beeinflussen, wie leicht Protonen bei Elektronenzugabe zu molekularem Wasserstoff reagieren – und damit, wie viel elektrische Energie man für dessen Herstellung braucht.

Um Wasserstoff mittels Elektrolyse zu erzeugen (der entscheidende Schritt in einer Wasserstoffwirtschaft), pumpt man Strom in dünne H₂O-Schichten, die sich auf Elektroden gebildet haben. Was dann genau passiert, ist nicht klar. Unterm Strich nehmen Protonen Elektronen auf und Wasserstoff- und Sauerstoffatome lösen ihre Bindungen. Das kostet viel Energie, die sich womöglich teils einsparen lässt, wenn man steuert, wie die Protonen in die Wasserschicht an der Elektrode eingebettet sind.

Das Forschungsteam dampfte im Hochvakuum eine einzelne Schicht

Wassermoleküle auf Metall auf. Sie ordneten sich zu einem sechseckigen Netzwerk an, in dem jedes Molekül von drei weiteren umgeben war und mit diesen Wasserstoffbrücken bildete. Anschließend gaben die Wissenschaftler zusätzliche Protonen hinzu. Die dabei entstehende Struktur machte ein Rasterkraftmikroskop sichtbar, das die Oberfläche des Netzwerks nanometerfein abtastete und darin wirkende atomare Kräfte registrierte. Das Mikroskop erreichte die nötige räumliche Auflösung, um zwischen kovalenten Bindungen und schwächeren Wasserstoffbrückenbindungen zu unterscheiden.

Die Arbeiten zeigen zum einen, dass sich Zundel- und Eigendefekte in der Wasserstruktur direkt abbilden lassen. Zum anderen belegen sie, dass Wassermoleküle in der Nähe solcher Defekte leicht vom Untergrund abgehoben sind, wie auch aus theoretischen Berechnungen hervorgeht. Außerdem hängt das Zahlenverhältnis der beiden Defektypen davon ab, auf welcher metallischen Oberfläche sich die Wasserstruktur bildet. Möglicherweise helfen diese Erkenntnisse, die Wasserstoffproduktion zu verbessern.

Science 10.1126/science.aba082, 2022

ZUNDELDEFEKTE Hydratisierte Protonen (hellblau) zwischen H₂O-Molekülen (rot-weiß) auf einer Goldoberfläche (gelb; Illustration).





AUSGESTATTET Anhänger aus menschlichen und tierischen Knochen schmückten einen Toten vor 8200 Jahren (Illustration).

ILLUSTRATION: TOM BJÖRKLUND

ARCHÄOLOGIE STEINZEITLICHER SCHMUCK AUS MENSCHLICHEN KNOCHEN

Während der europäischen Mittelsteinzeit war es offenbar üblich, sich mit geschnitzten Menschenknochen zu schmücken. Das belegen Untersuchungen an Schmuckanhängern von einem zirka 8200 Jahre alten Friedhof. Der Begräbnisplatz liegt auf einer Insel im russischen Onegasee und diente Jäger-und-Sammler-Kulturen als Bestattungsort.

Wie ein Team um Kristiina Mannermaa von der Universität Helsinki berichtet, sind einige der dort gefundenen Anhänger aus menschlichem Gebein. Sie waren zusammen mit ihren tierischen Pendants bereits in

den 1930er Jahren ausgegraben worden. Die jeweilige Herkunft des Materials ermittelten Mannermaa und ihre Arbeitsgruppe mit Hilfe eines Massenspektrometers. Dabei stellte sich heraus: Zwölf Stück bestehen aus menschlichen Skeletteilen. Bei den übrigen handelt es sich um Schnitzereien aus tierischen Zähnen und Knochen – etwa von Elchen, Braunbären oder Bibern.

Bruchkanten an den Anhängern lassen darauf schließen, dass sie einst aus frischen Menschenknochen gefertigt worden sind. Man hatte sie genauso bearbeitet wie das tierische

Material und ihnen auch ähnliche Formen gegeben. Vielleicht sollten die Artefakte gar nicht mehr als menschlich zu erkennen sein, spekuliert das Team um Mannermaa. Beides miteinander zu kombinieren, könnte die Vorstellung symbolisiert haben, dass sich Mensch und Tier ineinander transformieren können, heißt es in der Studie. Solche Denkweisen seien durch ethnologische Untersuchungen belegt.

Wahrscheinlich wurden die Knochenornamente – menschliche wie tierische – an Umhängen oder Kopfbedeckungen befestigt oder als Ketten getragen. Darauf lässt die Fundlage schließen. Vielleicht hatte man sie auch auf Taschen, Körbe oder Decken genäht. Abnutzungsspuren zeigen, dass sie auf Leder oder Textilien aufgebracht gewesen waren.

Von welchen Menschen das Knochenmaterial stammt, ist unbekannt. Hinweise auf Kannibalismus, etwa in Form von Schnittspuren, fehlen.

Journal of Archeological Science 10.1016/j.jasrep.2022.103488, 2022

GEOWISSENSCHAFTEN GIGANTISCHER ERDRUTSCH IM OZEAN

Mehr als 1100 Kilometer weit und bis in 4500 Meter Tiefe haben sich Sedimentmassen unlängst vor der afrikanischen Küste gewälzt: einer der gewaltigsten Erdbeben, die je vermessen worden sind. Die Ergebnisse haben jetzt Peter Talling von der Durham University und sein Team vorgestellt.

Der Rutsch riss zahlreiche Messbojen in der Region aus ihren Verankerungen. Zwar waren diese genau wegen solcher Ereignisse installiert worden und dafür ausgelegt, über den Ozean zu driften, falls ihre Befestigung nicht hält. Allerdings warf es Probleme auf, die jeweils fußballgroßen Schwimmkörper wiederzufinden – zumal Wind und Strömungen sie in unterschiedliche Richtungen verfrachteten. Dank internationaler Zusammenarbeit und mit viel Glück gelang es trotzdem, die besondern Geräte mit Schiffen einzusammeln.

Talling und sein Team hatten die Messbojen nur fünf Monate vor dem Abgang der Sedimentlawine entlang des Kongo-Canyons im Atlantik installiert. Die unterseeische Schlucht bildet die Fortsetzung des Flusses Kongo. Am 14. Januar 2020 setzten sich die Erdmassen dort mit rund 18 Kilometer pro Stunde in Bewegung und beschleunigten im weiteren Verlauf auf bis zu knapp 30 Kilometer pro Stunde. Teilweise wurden 20 bis 30 Meter dicke Schichten abgetragen. Das Volumen des Materials, das in die Tiefsee glitt, schätzen die Forscherinnen und Forscher auf 2,7 Kubikkilometer – und seine Masse auf bis zu 2700 Megatonnen. Zum Vergleich: Der Fluss Kongo spült jährlich rund 40 Megatonnen Sediment ins Meer.

Derartige Erdbeben könnten eine bislang unterschätzte Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf spielen. Eingelagert ins Sediment, transportie-

ren sie große Mengen organischer Materie in die Tiefe, darunter abgestorbenes Plankton, die Überreste von Landlebewesen oder Pflanzenteile, die der Kongo aus dem Inneren Afrikas heranbefördert.

Die Arbeitsgruppe um Talling vermutet, heftige Regenfälle im Kongobecken könnten für den Erdbeben mitverantwortlich gewesen sein. Sie führten dem Kongo überdurchschnittlich viel Wasser zu, das zudem im Küstengebiet auf besonders starke Gezeiten traf. Beides zusammen löste möglicherweise Turbulenzen aus, die den Untergrund in Bewegung versetzten. Dabei rissen sich nicht nur Messbojen los, sondern es wurden auch zwei wichtige Unterwasserkabel zerstört. Infolgedessen fiel in großen Teilen Afrikas die Internetverbindung aus.

Nature Communications 10.1038/s41467-022-31689-3, 2022