# 1 Neuro-Athletik für jedermann. Sie haben Rückenschmerzen? Neuro-Papst empfiehlt "Augen-Liegestütz"

Es wirkt oft skurril, steigert jedoch Kraft und Motorik und hilft nach Verletzungen: Spitzensportler setzen deshalb auf Neuroathletik, viele unter der Anleitung von Lars Lienhard. Im Gespräch mit FOCUS Online erklärt der Sportwissenschaftler, wie die Methode wirkt und wie jeder davon profitieren kann. Immer mehr Profiathleten ergänzen ihre Trainingseinheiten mit speziellen Übungen für das zentrale Nervensystem. Neuroathletik (NAT) heißt die Trainingsform, die vor allem vom amerikanischen Trainer Eric Cobb entwickelt wurde. Was sie von anderen Trainingsformen und Rehamethoden unterscheidet: Sie begrenzt sich nicht auf Muskeln, Gelenke, und physiologische Prozesse, sondern bezieht das Gehirn und seine bewegungssteuernden Funktionen mit ein, nutzt also die aktuellen Erkenntnisse aus der Neurowissenschaft und Gehirnforschung.

**Vor jeder sportlicher Leistung kommt Gehirnschmalz**

Lars Lienhard (48 Jahre), Sportwissenschaftler und ehemaliger Leistungssportler (Stabhochsprung, Hürdenlauf), gilt als führender deutscher Experte auf dem Gebiet der Neuroathletik. Er brachte dieses Training nach neuronalen Grundsätzen in den deutschen Leistungssport, hat bereits viele namhafte Sportler nach dieser ganz neuartigen Methode trainiert, ihre Schwachstellen identifiziert und sozusagen weg trainiert, nach Verletzungen ihre Leistung wieder gesteigert. Vor Kurzem hat er auch ein Buch dazu veröffentlicht, „Training beginnt im Gehirn“ (Riva Verlag, 24,99 Euro).

Auf diese Weise machte Lars Lienhard Gina Lückenkemper, Deutschlands schnellste Frau, noch schneller, trainierte mit Per Mertesacker, Olympiasiegerin Tatjana Hüfnerund vielen anderen und aktuell z.B. dem Nationalspieler Serge Gnabry. Die Spitzensportler kommen aus den verschiedensten Sportarten und Disziplinen. Doch was versteckt sich wirklich hinter diesem innovativen Trainingsansatz, was passiert dabei und ist das wirklich nur etwas für Profisportler? Für FOCUS Online hat Lars Lienhard die wichtigsten Fragen beantwortet.

**FOCUS Online:** Unter Training für mehr Leistung denkt jeder an schweißtreibende Übungen. Mit NAT führen Ihre Sportler dagegen eher kleine, oft ein bisschen verrückte Übungen durch. Das ist etwa Schielen. Was soll das bewirken?

**Lars Lienhard:**Jeder Sinneseindruck – aus den Augen, unserem Gleichgewichtssystem oder aus den Muskel und Gelenken – läuft durch den Körper ins Gehirn und wird dort in verschiedene Areale geleitet, die diese Information verarbeiten und auswerten. Die Signale, die entstehen, wenn sich die Augen kreuzen, gehen vor allem in das Mittelhirn. Das Mittelhirn ist sehr wichtig, weil es unter anderem visuelle und akustische Informationen verarbeitet und mit anderen sensorischen Reizen integriert.

Diese Integrationsprozesse sind wichtig für eine optimale Stabilität von Kopf und Nacken sowie eine gute Regulierung der muskulären Tonusmuster. Vereinfacht: Mit dem Schielen aktivieren wir einen Mittelhirnbereich, von dem aus wichtige Reflexe starten sowie muskuläre Spannung reguliert wird.

**FOCUS Online:**Eine weitere Übung ist durch die Nase schniefen – welche Funktion hat das?

**Lars Lienhard:**Je näher eine motorische Aktion Richtung Kopf ist, desto stärker ist der neuronale Reiz, das ist ein neuronales Grundphänomen. Die motorische Aktivität der Nase beim Schniefen aktiviert die sogenannte Vermis, das ist der mittlere Anteil des Kleinhirns. Die Vermis ist verantwortlich dafür, Wirbelsäule und Augen zu koordinieren, also die Mitte des Körpers. Je aktiver die Vermis, desto stabiler bin ich in einer Bewegung. Schniefen aktiviert also Gehirnareale, die an der motorischen Gestaltung unserer Körpermitte beteiligt sind.

**FOCUS Online:**Manche Sportler haben Sie auch an Batterie lecken lassen?

**Lars Lienhard:**Ja, das wirkt tatsächlich etwas „strange“. Für die Medien war das natürlich ein schönes Beispiel, weil man damit sozusagen Strom durch den Körper jagt und Gina danach tatsächlich unter elf Sekunden lief. Doch was wirklich dahinter steckt, sind die zahlreichen Hirnareale, die wir gezielt über die Zunge aktivieren können. Wenn man sich den sensomotorischen Humunculus betrachtet – also welcher Körperbereich ist wie groß im Gehirn repräsentiert – ist die Zunge aufgrund ihrer Lage in diesen Repräsentationsfeldern enorm und spielt deshalb für viele Aspekte eine große Rolle.

**FOCUS Online:**Die Zunge ist beim NAT deshalb ein besonders wichtiges „Trainingsobjekt“. Es gibt dabei auch Übungen mit Zunge herausstrecken oder nah an den Gaumen platzieren. Doch was passiert dabei genau?

**Lars Lienhard:**Die Zunge liefert mehr sensorische und motorische Informationen ans Gehirn als der gesamte Rumpf. Sie aktiviert einen Bereich im Stammhirn, der auch für Rhythmisierung und Koordination verantwortlich ist. Außerdem werden über die Zunge im Gehirn benachbarte Bereiche, wie die Inselrinde aktiviert, ihre Durchblutung wird verstärkt. In der Inselrinde werden Gleichgewichtsinformationen integriert, was wiederum extrem wichtig für motorische Lernprozesse ist.

Über ein Aktivieren der Zunge können wir letztlich einen sehr starken Reiz in das zentrale Nervensystem setzen, den wir dann als Voraktivierung nutzen können um danach Reize, die nicht so stark wirken, besser und nachhaltiger zu vermaschen. Über die Zunge wird quasi unser Gehirn voraktiviert, um im Anschluss besser und nachhaltiger arbeiten zu können. Für den Sport heißt das: Der Athlet kann Bewegungen schneller erlernen und nachhaltiger wieder abrufen.

**FOCUS Online:**NAT arbeitet mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen aus funktioneller Neurologie, mit der Profisportler ihre Leistung steigern können, Schwächen ausgleichen und Verletzung sowie Überlastungen vorbeugen. Wie beeinflusst das Gehirn dabei die sportliche Leistung?

**Lars Lienhard:**Unter Begriffen wie funktionelle Neurologie können sich die meisten nicht viel vorstellen. Vereinfacht bedeutet das: Bevor es zu einer motorischen Handlung kommt, laufen viele Prozesse ab – das Gehirn braucht eine Menge qualitativ guter Informationen, muss sie verarbeiten und dann in der passenden Situation abschätzen, was die beste Handlung ist. Aus diesen Informationen wird das motorische Programm erstellt und an die Muskeln gesendet. Wie und wo diese Prozesse genau ablaufen und wie man sie gezielt ansteuern kann wissen wir unter anderem aus den Erkenntnissen der funktionellen Neurologie.

Wir arbeiten also mit den Prozessen, die im Vorfeld einer motorischen Handlung ablaufen, damit das bestmögliche motorische Programm entworfen wird. Jede Sportart hat ein gewisses Anforderungsprofil an das Zentralnervensystem des Athleten. Wir stellen nun das zentrale Nervensystem bestmöglich auf diese Anforderung ein.

**FOCUS Online:**Gehört dazu nicht die auch im Profisport eingesetzte Technik, den Ablauf des Wettkampfes, alle Bewegungen, vorher viele Male in Gedanken durchzugehen?

**Lars Lienhard:**Ja, das ist ein Teilbereich unseres Trainings, die Ideomotorik. Das Gehirn unterscheidet nämlich nicht zwischen vorgestellter und ausgeführte Motorik, für beides muss es das gleiche Programm entwerfen. Das haben wir etwa mit einer Olympiarodlerin trainiert, weil wir wussten, dass in Sotschi die Trainingsbedingungen nicht optimal sind und nicht ausreichend Zeit für mehrere Läufe vor dem Rennen zur Verfügung steht. Dann arbeiten wir auch mit ideomotorischen Prozessen, aber das ist nur ein Teil unseres Trainings.

**FOCUS Online:**Wie beginnen Sie das Training mit einem neuen Klienten? Wie lange dauert es, wie oft sollte man üben?

**Lars Lienhard:**Ich trainiere beim Erstkontakt rund drei Stunden im Spitzensport, manchmal auch länger. Zuerst mache ich eine Anamnese und stelle ein neuronales Profil auf. Denn meist werde ich ja gerufen, wenn Probleme auftauchen. Anhand von vielen Tests und der Verletzungshistorie erkenne ich, wo mein Training ansetzen sollte – ist es zum Beispiel ein Problem der motorischen Ansteuerung, ein Problem des Muskeltonus? In wie weit ist das visuelle System, das Gleichgewichtssystem daran beteiligt, et cetera? Danach wähle ich die passenden Übungen aus und diese werden dann trainiert. Rund 20 bis 30 Minuten pro Tag muss jeder dafür investieren.

**FOCUS Online:**Wer kann von NAT profitieren, auch Hobbysportler oder prinzipiell jeder?

**Lars Lienhard:**Ja, jeder. Vor allem die vielen, die körperlich monoton arbeiten, also wer viel sitzen muss und am Monitor arbeitet, oder allgemein wenig Bewegung hat. Bei diesen Menschen ist das zentrale Nervensystem oft noch mehr belastet als bei Profisportler. Für sie ist eine Verbesserung der bewegungssteuernden Systeme besonders wichtig. NAT kann hier natürlich hervorragende Dienste leisten.

**FOCUS Online:**Welche Übungen empfehlen Sie denen, die viel am Schreibtisch sitzen?

**Lars Lienhard:**Wenn sich jemand wenig bewegt, erhält das Gehirn zu wenig Reize von den Bewegungs(mechano)rezeptoren, dadurch werden nicht nur die zuständigen neuronalen Areale in ihrer Funktion reduziert, es wirkt sich auf das gesamte Gehirn aus. Unser Gehirn „lebt“ quasi von Bewegung - vereinfacht ausgedrückt. Mechanorezeptoren befinden sich vor allem in den Geweben um die Gelenke herum, in den Muskelsehnenübergängen und Bändern. Deshalb gehören entsprechende Übungen, etwa mit Gelenkkreisen zur Basis unseres Trainings und sind vor allem für diejenigen wichtig, die sich wenig bewegen und viel sitzen müssen.

**FOCUS Online:**Gibt es noch andere Übungen, die sich auch für den Alltag eignen?

**Lars Lienhard:**Wichtig ist etwa, die Augen zu entspannen. Das funktioniert mit Palming. Reiben Sie dazu Ihre Hände aneinander, bis sie warm sind. Legen Sie sie dann über die geschlossenen Augen und versuchen Sie, es ganz dunkel werden zu lassen. Die Dunkelheit und das Abschirmen aller Reize tut den Augen gut, die sich dann erholen. Denn wenn die Augen Stress haben, steht der ganze Körper unter Druck. Wir nutzen Palming auch bei Sportlern in der Pause zur Entlastung.

Eine weitere, einfache, aber wirkungsvolle Übung aus dem NAT: Sie führen mit dem Finger Spiral- und Kreisbewegungen vor den Augen aus und folgen jeder der Bewegungen mit den Augen. Versuchen Sie dabei, den Finger ganz scharf zu sehen, das koordiniert die Augen wieder richtig. Sie dürfen dabei allerdings nicht den Kopf bewegen. Auch das anfangs beschriebene Schielen ist eine gute Übung, wir nennen das Augen-Liegestützen. Halten Sie den Zeigefinger auf Höhe der Nasenwurzel etwa 40 bis 50 Zentimeter entfernt und bringen den Finger dann langsam bis zur Nase; sehen Sie ihn dabei mit beiden Augen an. Die Augen gehen dabei unweigerlich nach innen, schielen also. Das trainiert Augenmuskeln, die in ihrer Funktion sonst kaum gezielt genutzt werden, wirkt auf das Mittelhirn und stabilisiert zusätzlich die Nackenwirbelsäule – Effekte, die für Schreibtischarbeiter besonders wertvoll sind.

2 Überschwemmung der Zellen

# Das passiert im Körper, wenn Sie zu viel Wasser trinken

**Bloß nicht zu wenig trinken! Diese Warnung ist ständig zu hören – beim Sport, wenn es warm ist und überhaupt. Dass der Körper auch durch zu viel Wasser Schaden nehmen kann, ist weniger bekannt. Mit diesen Symptomen zeigt er, dass er dringend eine Trinkpause braucht.**

Wie viel Wasser braucht unser Körper, um zu funktionieren? Da ist er bezüglich der Menge ziemlich flexibel. Mit einem bis drei Litern pro Tag kommt er bestens zurecht. Schwitzen wir stark, etwa beim Sport oder großer Hitze, dürfen es auch ein paar Liter mehr sein.

Antje Gahl von der [Deutschen Gesellschaft für Ernährung](https://www.dge.de/) sagt: „Überschüssiges Wasser wird einfach ausgeschieden – bis zu einem Liter pro Stunde bewältigen gesunde Nieren. Über den Tag verteilt, verkraftet der Körper daher auch große Wassermengen.“

Anders sieht es aus, wenn der Mensch mehrere Liter innerhalb weniger Stunden konsumiert. Dann gerät die Balance von Flüssigkeit und Salzen aus dem Gleichgewicht. Besonders das wichtige Natrium wird sozusagen „verwässert“.

Die Folge sind Kopfschmerzen, Schwindel und Kreislaufprobleme. Manchmal rebelliert der Magen, wenn er mit Wasser geflutet wird. Weitere Symptome einer Wasserüberversorgung können Schweißausbrüche, Konzentrationsstörungen oder Atembeschwerden sein.

**Wer innerhalb kürzester Zeit mehrere Liter Wasser trinkt, kann ins Koma fallen**

Im schlimmsten Fall kommt es zu einer regelrechten Wasservergiftung, Hyponatriämie genannt. Dann funktioniert die Ausscheidung nicht mehr und Wasser dringt in alle Körperzellen. Bei Trinkwettbewerben oder extremem Ausdauersport sind schon Menschen ums Leben gekommen, nachdem sie Krampfanfälle bekamen und ins Koma fielen. Das kommt im Alltag allerdings sehr selten vor. Achten Sie einfach gut auf ihr Durstgefühl. Es ist der beste Indikator dafür, ob Sie etwas trinken müssen oder eine Trinkpause einlegen sollten.

**WHO-Studie: Männer sterben vier Jahre früher als Frauen - und das hat vier Gründe**

Frauen leben länger als Männer – in reichen Industriestaaten genauso wie in Entwicklungsländern, im Schnitt mehr als vier Jahre. Doch warum ist das so? Das hat die Weltgesundheitsorganisation jetzt untersucht – und zeigt, warum Männer öfter zum Arzt gehen sollten.

Wie geht es den sieben Milliarden Menschen auf der Welt? Diese bescheidene Frage zu beantworten, das versucht die Weltgesundheitsorganisation (WHO) jedes Jahr aufs Neue. Die Antwort in 2019: Es geht ihnen besser als noch vor 20 Jahren. Zumindest, wenn man die Lebenserwartung betrachtet, mit der sich [**die neueste „Welt-Gesundheits-Statistik“**](https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2019/en/) hauptsächlich auseinandersetzt.

So lag die durchschnittliche Lebenserwartung eines im Jahr 2000 geborenen Menschen noch bei 66,5 Jahren. Heute wird der Durchschnitts-Mensch immerhin 72 Jahre alt. Frauen, die 2019 auf die Welt kommen, sogar 74,2 Jahre – und damit fast fünf Jahre älter als gleichaltrige Männer. Ihre Lebenserwartung beträgt laut WHO "nur" 69,8 Jahre.

**Frauen leben nicht nur länger, sondern sind auch länger gesund**

Was nützt das bloße Alter, wenn ich nur noch vor mich hinsieche, mögen nun manche sagen. Doch Frauen leben nicht nur länger als Männer, sie leben auch länger gesünder. Wie der WHO-Bericht zeigt, liegen vor den heute geborenen Mädchen im Schnitt 64,8 gesunde Lebensjahre. Bei den Männer fangen die kleinen und größeren Wehwehchen durchschnittlich schon mit 62 Jahren an.

Die Antwort, an der sich die WHO deshalb dieses Jahr zudem versucht hat, lautet daher: Warum ist das so - und was können Männer möglicherweise tun, um die Lücke in Sachen Lebenserwartung zu schließen? Das ist im Rahmen der Meta-Analyse der WHO, die sie seit 2005 im Jahresturnus herausgibt, dieses Jahr zum ersten Mal möglich, untersucht sie doch die Daten für Mann und Frau erstmals separat.

**Zusammengefasst nennt die WHO diese vier Gründe:**

* Männer leben ungesünder als Frauen.
* Männer gehen seltener zum Arzt als Frauen.
* Männer sterben häufiger an unnatürlichen Todesursachen wie

Verkehrsunfällen oder Tötungsdelikten.

* Männer sterben an vielen Krankheiten häufiger als Frauen (insbesondere an koronaren Herzerkrankungen, Lungenkrebs, [**COPD**](https://www.focus.de/thema/copd/), Schlaganfällen und Leberzirrhose).

Einige dieser Unterschiede [**lassen sich durch Biologie erklären**](https://www.focus.de/gesundheit/news/test-bestimmt-auch-das-wahre-alter-in-unseren-genen-tickt-eine-lebensuhr-sie-verraet-wie-viele-jahre-wir-noch-leben_id_10330910.html), schreibt die WHO. So sorgten Prozesse, die mit dem X-Chromosom verbunden sind, das Frauen mehr haben als Männer, etwa dafür, dass Frauen ein besseres Immunsystem hätten als Männer.

Doch die unterschiedliche Lebenserwartung lässt sich nicht nur auf genetische Dispositionen zurückführen. Auch die Rollen, die Frauen und Männer in Sozialleben und Gesellschaft einnehmen, beeinflussen, wie lange sie leben.

Der WHO zufolge arbeiteten Männer etwa viel häufiger als Frauen im Transportsektor und sind folglich viel häufiger dem Risiko ausgesetzt, bei einem Verkehrsunfall Schaden zu nehmen. Entsprechend sterben den Zahlen zufolge ab dem 15. Lebensjahr mehr als doppelt so viele Männer wie Frauen im Straßenverkehr.

[**Können Sie 100 Jahre alt werden? Machen Sie mit dem FOCUS-Online-Lebenszeitrechner den Test**](https://www.focus.de/gesundheit/ratgeber/herz/test/lebenszeitrechner-koennen-sie-100-jahre-alt-werden_aid_15952.html)

Inwiefern Gründe allerdings genetischer oder sozialer Natur sind, lässt sich oft nur schwer zuordnen, da sie nicht losgelöst voneinander zum Tragen kommen, erklärt die Weltgesundheitsorganisation.

**Weniger rauchen, weniger trinken, mehr Arztbesuche**

Darüber hinaus achteten Frauen häufig einfach besser auf sich und ihre Gesundheit als Männer. Sie gehen öfter und früher zum Arzt, trinken weniger [**Alkohol**](https://www.focus.de/thema/alkohol/), rauchen weniger.

Dazu kommen Männer den WHO-Angaben nach häufiger durch unnatürliche Ursachen zu Tode. Die Suizid-Rate liegt laut WHO bei Männern 75 Prozent höher als bei Frauen. Bei den Tötungsdelikten ist die Geschlechterverteilung noch gravierender: Männer werden im Schnitt viermal so oft Opfer von Straftaten mit Todesfolge als Frauen.

**Lebenszeit-Plus der Frauen in reichen Ländern stärker ausgeprägt**

Die Unterschiede zwischen Mann und Frau sind allerdings nicht in allen Ländern der Welt gleich stark ausgeprägt. Während der Unterschied in den reichen Teilen der Welt bei bis zu sieben Jahren liegt, fällt das Lebenszeit-Plus der Frauen in ärmeren Ländern deutlich geringer aus.

Hauptsächlich verantwortlich dafür seien Komplikationen in der Schwangerschaft, die in weniger entwickelten Ländern deutlich öfter zum Tod führten als in Industriestaaten, erklärt die WHO. Schuld daran ist die schlechte medizinische Versorgung vor Ort.

**Bei den 85-Jährigen kommen auf 100 Frauen nur noch 60 Männer**

All das führt dazu, dass es ab einer bestimmten Altersgrenze mehr Frauen als Männer gibt - obwohl zunächst mehr Jungen als Mädchen geboren werden. Auch das zeigt der neue WHO-Report: Von den mehr als 141 Millionen Babys, die 2019 auf die Welt kommen werden, werden laut WHO 73 Millionen männlich sein, 68 Millionen Mädchen. Auf 100 Mädchen kommen somit 107 Jungen.

Doch das Geschlechterverhältnis dreht sich im Laufe der Lebenszeit: Weil die Männer im Schnitt früher sterben, sind die Frauen ab einem Alter von 60 Jahren in der Überzahl. Dann kommen auf 100 Frauen nur noch 95 Männer. Bei den 85- bis 89-Jährigen sind es nur noch 60 Männer, bei den 100+-Jährigen weniger als 30.

**In Kafeemaschinen leben so viele Bakterien wie im Ausguss.**

**In der Kaffeemaschine lauern jede Menge Keime. In Schläuchen und Düsen existieren regelrechte Biofilme aus Mikroben. Doch das müsste nicht sein, denn schon etwas Hygiene vertreibt die Bakterien.**

Was jeder Angestellte insgeheim vermutet, der in seiner Büro-Küche eine Kaffeemaschine stehen hat, wurde kürzlich wissenschaftlich bestätigt: In Tank, Schläuchen und Düsen des Kaffeebereiters lauern jede Menge Keime. Und diese finden sich später auch im aufgebrühten Kaffee.

Ans Licht gebracht hat die unappetitliche Tatsache [ein Student der Hochschule Rhein-Waal in seiner Master-Arbeit im Studiengang Lebensmittelwissenschaft](https://www.hochschule-rhein-waal.de/de/aktuelles/pressemitteilungen/gute-nachrichten-fuer-mehrweg-becher). Jan Schages hat in diversen Kaffeeautomaten einen Biofilm aus Mikroben gefunden, wie er sonst allenfalls im Ausguss existiert.

Obwohl es bislang keine Belege für eine gesundheitliche Gefährdung durch verunreinigten Kaffee gibt, rät der angehende Hygieneexperte, Kaffeevollautomaten regelmäßig und sorgfältig zu reinigen. Abgesehen vom oft automatischen Reinigungsprogramm gehört dazu:

1. Täglich frisches Wasser in den Tank
2. Kaffeesatzbehälter nach dem Leeren ausspülen
3. Den Kaffee so heiß wie möglich aufbrühen

Schon 68 Grad Brühtemperatur statt der üblichen 60 bis 63 Grad könnten vor einer hohen Keimbelastung schützen, so das Ergebnis der Kaffeemaschinen-Studie.

**3 Beweise belegen: So wurden die Pyramiden wirklich erbaut**

**Archäologen finden in der Nähe von Luxor Beweise, wie man damals die Pyramiden errichtet hat und bestätigt damit eine lange vermutete Theorie. Hatnub (Ägypten).**

Bis zum Bau der englischen Kathedrale von Lincoln im 14. Jahrhundert war die Cheops-Pyramide mit 146,6 Metern Höhe das höchste Bauwerk der Erde. Diese [Pyramide](https://www.forschung-und-wissen.de/thema/pyramiden/) ist zudem das einzige Weltwunder der Antike, welches bis heute erhalten ist. Dass das über 4.500 Jahre alte Bauwerk heute immer noch so gut erhalten im ägyptischen Wüstensand steht, hängt mit der massiven Bauweise zusammen. So wurden für den Bau der großen Pyramide mehr als sechs Millionen Tonnen Gestein verwendet.

**Der Bau war lange Zeit ein Rätsel**

Es ist beeindruckend, dass die Menschen damals in der Lage waren, ohne Kräne, Maschinen und Bagger ein solch imposantes Bauwerk zu errichten – wie dies allerdings genau geschafft haben, war lange Zeit ein Rätsel. Erst in den letzten Jahren fanden Archäologen einigen Indizien bei jüngeren Pyramiden, die Hinweise auf die Bautechniken gaben.

So wurde vermutet, dass man die Pyramiden mit Hilfe von riesigen Rampen errichtet hat. Auf diesen wurden dann die riesigen Steine, meist aus Granit oder Kalkstein, immer höher bis zur Pyramidenspitze hinaufgeschoben bzw. -gezogen.

Ein neuer Fund eines internationalen Archäologen-Teams bestätigt nun diese Theorie und wirft sogar Licht auf die Errichtungsfrage der Cheops-Pyramide selbst.

**Reste einer Rampe im Wüstensand**

Die Archäologen haben in Ägypten in der Nähe von Hatnub nördlich von Luxor die Reste einer ansteigenden Rampe freigelegt. Der Verwendungszweck der Rampe ist eindeutig: Pfostenlöcher entlang zweier Treppen zu beiden Seiten mit einer bis zu 20-prozentigen Steigung dürfte nach Angaben der Experten dazu gedient haben, große und schwere Gesteinsblöcke auf Kufen bergauf zu transportieren.

Für die internationalen Experten aus England, Frankreich und Ägypten steht damit fest, dass die damaligen Ägypter mit Hilfe von Schlitten und Seilen die Steine auf einer Rampe bewegten.

Zahlreiche Felsgravuren und bildliche Darstellungen vom Alltag der Bauarbeiter untermauern die Annahme.

Die Rampe stammt aus der Herrschaftszeit von Cheops, der zwischen 2.650 und 2.580 v. Chr. Ägypten regierte. „Damit liefert die Rampe auch unschätzbare Einblicke in die Logistik und die Techniken, die nötig waren, um die Cheops-Pyramide zu errichten“, so Roland Enmarch von der [University of Liverpool](https://news.liverpool.ac.uk/2018/11/02/ancient-quarry-ramp-system-may-have-helped-workers-build-egypts-great-pyramids/).

**Neue Hirnzellen entstehen lebenslang**

**Aber mit zunehmendem Alter sinkt die Produktion neuer Neuronen im Hippocampus – bei Alzheimer-Patienten stärker als bei neurologisch gesunden Menschen**

Madrid (Spanien) -  Erwachsene bilden neue Hirnzellen nur in bestimmten Regionen des Gehirns, beispielsweise im Hippocampus, der für das Gedächtnis wichtig ist. Die Fähigkeit zur Neurogenese lässt zwar mit steigendem Alter nach, bleibt aber lebenslang erhalten, berichten spanische Forscher im Fachblatt „Nature Medicine“. Ihre Ergebnisse seien zuverlässiger als frühere, teils widersprüchliche Resultate, weil die Verarbeitung ihrer Gewebeproben unmittelbar nach der Entnahme und besonders schonend erfolgte. Es zeigte sich, dass auch Alzheimer-Patienten noch neue Neuronen bilden können, allerdings in deutlich geringerem Maß als gleichaltrige Menschen ohne Demenz. Daher spielt möglicherweise eine beschleunigt nachlassende Neurogenese eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Demenz. Daraus könnten sich neue Ansätze für eine Therapie ergeben.

„Auch bei über 80-Jährigen neurologisch gesunden Menschen haben wir noch Tausende unreifer Neuronen im Gyrus dentatus, einem Teil des Hippocampus, identifiziert“, schreiben die Forscher um María Llorens-Martín vom Centro de Biología Molecular ‘Severo Ochoa’ in Madrid. Außerdem gebe es Hinweise dafür, dass eine gestörte Neurogenese eine Ursache für die verringerte Gedächtnisleistung bei der Alzheimer-Demenz sein könnte. Die Wissenschaftler analysierten Gewebeproben aus dem Gehirn von 45 Patienten mit Alzheimer, die im Alter zwischen 52 und 97 Jahren gestorben waren. Als Vergleich dienten Hirnproben von 13 nicht dementen, im Alter von 43 bis 87 Jahren verstorbenen Menschen. Die Forscher ermittelten die Zahl an unreifen Neuronen im Gyrus dentatus als Maß für die Entwicklung neuer Hirnzellen aus adulten Stammzellen. Dazu dienten bestimmte, durch Färbetechniken erkennbare Zellmerkmale wie das Protein Doublecortin (DCX), das nur in Vorläuferzellen produziert wird und in reifen Neuronen nicht mehr nachweisbar ist. Es stellte sich heraus, dass in allen Gewebeproben unreife Zellen unterschiedlicher Entwicklungsstufen vorhanden waren. Deren Zahl war umso geringer, je älter die verstorbene Person war. Im Vergleich zu den nicht dementen Menschen war bei den Alzheimer-Patienten die Rate, mit der die Zahl unreifer Neuronen altersbedingt sank, stark beschleunigt. Entweder entwickelten sich bei ihnen weniger neue Zellen oder es starben mehr Zellen während der Reifung ab.

In früheren Untersuchungen konnten einige Forschergruppen bei erwachsenen Menschen keine oder nur noch eine schwache Neurogenese nachweisen. Ursache dieser Diskrepanz seien wohl methodische Unterschiede bei der Gewebepräparation, erklären die Autoren. So hinge die Qualität der Färbung, durch die unreife Neuronen identifiziert werden, von der Vorbehandlung der Gewebeproben ab – auch davon, wie schnell die Verarbeitung nach der Entnahme erfolgt. Aus ihren Ergebnissen schließen die Forscher, dass die Neurogenese bereits im Frühstadium der Alzheimer-Demenz nachlässt – noch bevor sich die krankheitstypischen Plaques entwickelt haben. Wenn es gelänge, die Produktion neuer Neuronen wieder anzukurbeln, könnte das möglicherweise den fortschreitenden Verlauf der Demenz aufhalten.

**Zucker fördert Wachstum von Darmtumoren bei Mäusen**

**Fruktose-Glukose-Sirup aus Maisstärke kurbelt den Stoffwechsel von Darmkrebszellen an – Das Zuckerkonzentrat ist vielen Softdrinks und anderen Lebensmitteln zugesetzt.**

New York / Houston (USA) -  Ein starker Zuckerkonsum ist mit einem erhöhten Risiko für Fettleibigkeit und Darmkrebs verbunden. Bei Mäusen konnten amerikanische Forscher jetzt einen direkten, ursächlichen Zusammenhang zwischen der Verwertung zweier Zuckerarten und dem Wachstum von Darmtumoren nachweisen – auch unabhängig von einer Gewichtszunahme. Schon ein mäßiger täglicher Konsum von Maissirup, der sowohl Glukose als auch Fruktose enthält und in vielen Lebensmitteln enthalten ist, beschleunigte die Entwicklung von Tumoren aus Darmpolypen, berichten die Wissenschaftler in „Science“. Beide Zucker werden von den Tumorzellen aufgenommen und verändern deren Stoffwechsel so, dass sich die Zellen schneller vermehren. Eine Blockade der Fruktoseverwertung oder der Verzicht auf fruktosehaltige Nahrungsmittel könnte vorbeugend oder therapiebegleitend hilfreich sein.

„Wer Darmkrebs hat, könnte seinen Tumor füttern, wenn er Maissirup trinkt“, sagt Erstautor Marcus Goncalves aus dem Labor von Lewis Cantley von Weill Cornell Medicine in New York. „Beim Menschen dauert es gewöhnlich 20 bis 30 Jahre, bis sich aus einem frühen Krebsstadium ein aggressiver kolorektaler Tumor entwickelt hat“, sagt Jihye Yun vom Baylor College of Medicine in Houston, die zusammen mit Cantley das Forschungsprojekt leitete. Ein regelmäßiger Konsum zuckerhaltiger Getränke könne den zeitlichen Verlauf der Krebsentstehung verkürzen. Ob die Ergebnisse der Tierversuche auf den Menschen übertragbar sind, müsse aber noch geprüft werden.

Für ihre Experimente erzeugten die Forscher genetisch veränderte Mäuse, bei denen sich aufgrund eines fehlenden Gens zahlreiche Darmpolypen bilden. Diese sogenannten Adenome sind eine Vorstufe von Darmtumoren. Solche Tiere haben – wie auch Menschen mit adenomatöser Polypose – ein erhöhtes Risiko, an Darmkrebs zu erkranken. Das bei den Mäusen ausgeschaltete Gen sei auch bei mehr als 90 Prozent der Patienten mit kolorektalem Karzinom defekt, sagt Yun. Zwei Monate lang erhielten die Mäuse täglich mit Maissirup versetztes Trinkwasser. Die dabei aufgenommene Menge an Glukose und Fruktose würde beim Menschen etwa dem täglichen Konsum einer Flasche eines in gleicher Weise gesüßten Softdrinks entsprechen. Das verwendete Zuckerkonzentrat enthielt Glukose und Fruktose in einem Verhältnis von 45 : 55.

Die im Versuchszeitraum aufgenommene Zuckermenge reichte nicht aus, um bei den Mäusen Fettleibigkeit zu verursachen. Doch im Vergleich zu Tieren, die nur ungesüßtes Wasser getrunken hatten, zeigten die Mäuse ein beschleunigtes Wachstum von Darmtumoren, dagegen keine Veränderung der Tumorzahl. Weitere Untersuchungen ergaben, dass der Konsum des Fruktose-Glukose-Sirups den Fruktosegehalt im Darm und den Glukosegehalt im Blut erhöhte und dass beide Zucker von den Krebszellen aufgenommen wurden. Die Fruktoseaufnahme beschleunigte den Abbau von Glukose und förderte die Produktion von Fetten, die für die Zellvermehrung nötig sind. Die krebsfördernde Wirkung war abhängig von der gleichzeitigen Zufuhr ähnlicher Mengen beider Zuckerarten. Bei Mäusen, denen ein Enzym für die Fruktoseverwertung fehlte, beschleunigte der Maissirup das Tumorwachstum nicht.

Da Fruktose für normale Körperzellen nicht essenziell ist, könne es nützlich sein, Therapien zu erforschen, die den Fruktosestoffwechsel blockieren, sagt Yun. Einen ähnlichen Effekt hätte es, zuckerhaltige Getränke zu vermeiden. Ob auch mit Rohrzucker (Saccharose) gesüßte Getränke die Krebsentwicklung von Darmpolypen fördern, ist noch nicht untersucht. Da Saccharose aus je einem Molekül Glukose und Fruktose besteht, die bei der Verdauung freigesetzt werden, vermutet Cantley eine ähnliche krebsfördernde Wirkung dieser Zuckerart.

**4 Wie Ameisen im Kollektiv große Lasten schleppen**

**Verblüffende Koordination größerer Insektengruppen lässt sich mit Hilfe physikalischer Modelle erklären**

Rehovot (Israel) - Ameisen gehören zu den stärksten Lebewesen überhaupt. Allein können sie bis zum 40-fachen ihres eigenen Gewichts tragen. In einer Gruppe wuchten sie sogar Lasten von bis zu 50 Gramm bei jeweils nur knapp zehn Milligramm Körpergewicht. Eine ausgeklügelte Koordination Dutzender Individuen ist dabei nötig. In der Fachzeitschrift „Nature Physics“ gehen nun israelische Physiker und Biologen diesem Phänomen auf den Grund. Mit Videoaufnahmen lastentragender Ameisen und physikalischen Modellen von Vielteilchensystemen entschlüsselten sie das verblüffend kooperative Verhalten der Insekten.

„Allein eine ausreichend große Anzahl von Ameisen reicht beileibe nicht aus, um schwere Lasten zielgerichtet zu tragen“, erläutern Ofer Feinerman und seine Kollegen vom Weizmann Institute in Rehovot. Ein permanenter Austausch von Informationen zwischen den einzelnen Ameisen sei zusätzlich nötig. Im Unterschied zu anderen Insekten benötigen Ameisen dazu aber keine Duftstoffe, Blickkontakte oder direkte Tastreize. Während des Transports eines großen, schweren Objekts reicht es offenbar aus, wenn jede einzelne Ameise Richtung und Stärke der am Kontaktpunkt zur Last wirkenden Kraft spürt. Dann stimmt sie ihr Verhalten direkt auf diese wahrgenommene Kraft ab.

Für diese Erkenntnis analysierte Feinerman das Verhalten von Ameisen, die ein knapp zwei Zentimeter durchmessendes Objekt – ein Futterteilchen imitierend - zu ihrem Nest schleppten. Dabei griff er sowohl auf eigene Videoaufnahmen der Art Paratrechina longicornis als auch auf ähnliche Daten anderer Forschergruppen zurück. Das Ergebnis: Vorne angreifende Ameisen waren eher dafür verantwortlich, die Last in eine Richtung zu ziehen. Weiter hinten zupackende Artgenossen sorgten eher für das Hochheben. Je nach Position an der Last und Bewegungsrichtung wechselten sich die Tiere bei diesen Aufgaben ab. Als Impuls für die Verhaltensänderung genügte die jeweils auf die Ameisen wirkende Kraft. Parallel durchgeführte Berechnungen zeigten, dass dieses Verhalten im Wesentlichen einem Vielteilchensystem miteinander gekoppelter Partikel entsprach.

Je größer eine Ameisengruppe war, desto rascher wurde die Last gen Nest transportiert. Aber um die korrekte Richtung vorzugeben, waren zusätzlich nicht gekoppelte, individuell handelnde Ameisen nötig. Diese Einzelgänger wussten recht genau, wo sich das Nest befand. Mit diesem Wissen näherten sie sich, griffen die Last im vorderen Bereich an und zogen in die richtige Richtung. Für die anderen Insekten veränderte sich dadurch die wirkende Kraft, sie reagierten direkt und folgten der vorgebenen Richtung. Nach etwa zehn Sekunden wiederholte sich dieses Andocken weiterer, gut orientierter Einzelameisen. Über die fortlaufende Richtungskorrektur blieben die Abweichungen von der kürzesten Strecke zum Nest gering. Auch dieses Eingreifen einzelner Ameisen findet in dem Modell von Vielteilchensystemen eine Entsprechung. So wirken sich in diesen ebenfalls kleine Störungen direkt auf die Dynamik aller Teilchen aus.

Feinerman und Kollegen gelang es mit ihrer Arbeit, das kooperative Verhalten Lasten tragender Ameisen näherungsweise mit physikalischen Modellen miteinander gekoppelter Teilchen zu beschreiben. An den Resultaten werden nicht nur Biologen und Verhaltensforscher großes Interesse haben. Sie könnten auch als Vorlage für eine berechenbare Kontrolle selbstständig und dennoch kooperativ handelnder Robotersysteme dienen.

**Nanostruktur menschlicher Knochen entschlüsselt**

**Mikroskop-Aufnahmen zeigen fraktalähnlichen Aufbau mit zwölf Hierarchiestufen - Grundlage für neue bionische Werkstoffe.**

York (Großbritannien) - Knochen sind wegen ihres komplexen Aufbaus sehr fest und zugleich elastisch. Außen bestehen sie aus kompaktem Knochengewebe, im Innern findet sich ein schwammartiges Gerüst. Um das Geheimnis der enormen Stabilität von Knochen zu lüften, warfen nun deutsche und britische Wissenschaftler den bisher genauesten Blick auf die innere Knochenstruktur. Wie sie in der Fachzeitschrift „Science“ berichten, konnten sie den filigranen räumlichen Aufbau aus harten Mineralen und flexiblen Proteinen bis auf die Nanoebene entschlüsseln.

„Derzeit wird intensiv diskutiert, wie im Knochengewebe steife und flexible Phasen kombiniert werden und dem Knochen sowohl Zähigkeit als auch Festigkeit verleihen“, sagt Roland Kröger, Physikprofessor an der University of York. Diese Diskussion bereichert er nun gemeinsam mit Kollegen des Imperial College London mit extrem hochaufgelösten Bildern aus dem Innern von Oberschenkelknochen. Die Knochenproben wurden unter Beachtung strenger ethischer Standards bei Operationen von zwei Frauen im Alter von 48 und 50 Jahren gewonnen. Kröger und Kollegen benötigten für ihre Analysen nur etwa 100 Nanometer dünne Knochenschnitte. Mit ausgeklügelten bildgebenden Verfahren – der Elektronen-Tomographie und der Rasterelektronenmikroskopie gewannen sie zwei- und dreidimensionale Aufnahmen. Diese Bilder kombinierten die Forscher miteinander und erreichten so eine räumliche Bildauflösung von wenigen Nanometern.

Mit dieser Analyse erweiterten Kröger und Kollegen das aktuelle Wissen deutlich. Im Wesentlichen bilden Knochen ein Kompositmaterial aus zwei Substanzen: das flexible Strukturprotein Kollagen und die harten Kristalle des Minerals Apatit. Diese beiden Substanzen werden in einem hierarchischen Aufbau miteiander kombiniert. Knochen erreichen dadurch mechanische Eigenschaften, die besser sind als die von jeder Substanz allein. Genau diesen hierarchischen Aufbau vom Molekül bis zum Knochen als Ganzes analysierten die Wissenschaftler mit zuvor unerreichter Genauigkeit. Ihr Ergebnis: Weiches Kollagen und hartes Apatit setzt sich über insgesamt zwölf Stufen zu sich selbst ähnlichen, fraktalartigen Strukturen zusammen.

Im Detail lagern sich unterhalb von 100 Nanometern Kollagen-Moleküle zu zunehmend komplexeren, in sich gewundenen Mikrofasern zusammen. Im gleichen Größenbereich formen die Apatit-Kristalle zuerst kleine Nanoplättchen, die sich darauf zu winzigen Stapeln zusammenlagern. Auch ineinander verdrehte Stapel vergleichbar mit winzigen Propellern sind dabei möglich. Erst in der folgenden Stufe verknüpfen sich die weichen Kollagen-Fasern mit den harten, kristallinen Apatit-Stapeln zu wenige Mikrometer großen Fasern. Diese Fasern ordnen sich in teils geordneten, teils ungeordneten Strukturen zusammen, um sich dann zu größeren Faserbündeln zu verdrillen. Mehrere Faserbündel bilden geschichtete Lamellenstrukturen, die schließlich als Bausteine für wenige Millimeter große Lamellen-Pakete in der Knochenstruktur dienen.

Mit ihrer Analyse gelang Kröger und Kollegen ein verblüffender Einblick in den Aufbau von menschlichen Knochen. Damit schufen sie eine Datenbasis, um die mechanischen Eigenschaften des im Körper stets nachwachsenden Gewebes besser zu verstehen. Anwendungen könnten nicht nur im medizinischen Bereich bei der Optimierung des Knochenaufbaus von Patienten, sondern auch in der Entwicklung hochfester und zugleich flexibler bionischer Werkstoffe liegen.

**Massive Kollisionen brachten Metalle zur jungen Erde**

**Nach der Bildung des Monds schlugen offenbar mehrere Objekte mit Durchmessern von über 1000 Kilometern auf dem Planeten ein**

Boulder (USA) - In ihrer frühen Entwicklungsphase vor etwa 4,5 Milliarden Jahren kollidierte die Erde vermutlich mit dem marsgroßen Protoplaneten Theia. Aus den Trümmern entstand der Mond. Auch nach diesem gewaltigen Zusammenstoß schlugen noch weitere Himmelskörper auf der Erde ein – teils mit Durchmessern von mehr als tausend Kilometern. Diese sogenannten Planetesimale trugen wahrscheinlich deutlich mehr zur heutigen Erdmasse bei als bisher angenommen. Zu diesem Ergebnis kommen Wissenschaftler mithilfe von detaillierten Computermodellen, die sie nun in der Fachzeitschrift „Nature Geoscience“ präsentieren.

„Wir entdeckten, dass Metalle und Eisen-liebende (siderophile) Elemente von großen Projektilen nicht homogen im Mantel und Erdkruste verteilt wurden“, sagt Simone Marchi vom Southwest Research Institute in Boulder. Gemeinsam mit seinen Kollegen analysierte er in Computersimulationen, wie der Aufprall von Himmelskörpern mit Durchmessern zwischen 1000 und 4000 Kilometern auf die frühe Erde ablief. Bei unterschiedlichen Aufschlagwinkeln und mit Geschwindigkeiten von bis zu 24 Kilometern pro Sekunde war die Wucht offenbar so groß, dass ein Teil der mitgeführten Silikate und stark siderophilen – also eisenliebenden – Elemente wie Gold, Platin und Iridium bis in den Erdkern gelangte und dort dauerhaft eingelagert wurde. Die verbleibende Menge verteilte sich im Erdmantel und in der Erdkruste.

Bisher nahmen Forscher an, dass die von den Planetesimalen stammenden Metalle allesamt im Erdmantel verblieben. Demnach dürfte ein halbes Prozent der gegenwärtigen Erdmasse auf Einschläge in den Hunderten von Millionen Jahren nach der Mondentstehung zurückgehen. Die neuen Ergebnisse – nach denen deutlich weniger der angelieferten siderophilen Elemente im Erdmantel landeten – legen dagegen nahe, dass die Erde in dieser Zeit die doppelte bis fünffache Materialmenge durch Kollisionen mit Planetesimalen aufgenommen hat.

Für ihre Theorie führen die Forscher um Marchi auch Analysen von uralten Gesteinen in Grönland und Südafrika an. Diese weisen überdurchschnittlich hohe Anteile an Wolfram auf, die ihren Ursprung womöglich in den Kernen der aufgeprallten Planetesimale haben. Weitere Gesteinsanalysen könnten die neue, auf Simulationen beruhende Theorie künftig untermauern.

**5 Arthrosetherapie: Nanopartikel bahnen den Weg**

**Gebunden an positiv geladene Trägermoleküle gelangen Medikamente effektiver in das negativ geladene Knorpelgewebe erkrankter Gelenke und können dort länger wirksam bleiben**

Cambridge (USA) -  Bisher ist es nicht möglich, die fortschreitende Knorpelschädigung bei einer Arthrose effektiv zu stoppen oder gar rückgängig zu machen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssten Medikamente die Knorpelzellen im Gelenksknorpel stabilisieren oder aktivieren. In das Gelenk injizierte Wirkstoffe können aber nicht tief genug in das kompakte Knorpelgewebe eindringen und haben dort nur eine kurze Verweildauer. Jetzt haben amerikanische Forscher eine chemische Verbindung hergestellt und als Trägersubstanz eingesetzt, um einen Wachstumsfaktor tiefer in den Gelenksknorpel zu transportieren und dadurch dessen Wirksamkeit zu steigern. Die kugelförmigen Nanopartikel binden aufgrund ihrer positiv geladenen Oberfläche zunächst an die negativ geladene Knorpelmatrix und dringen dann zusammen mit dem Wachstumsfaktor bis zu den Knorpelzellen vor, berichten die Wissenschaftler im Fachblatt „Science Translational Medicine“. In Versuchen mit Ratten zeigte diese Form der Arthrosetherapie nach nur einmaligem Einsatz eine deutliche Verringerung der Knorpeldegeneration innerhalb von vier Wochen. Auch die im Vergleich zu Ratten wesentlich dickere Knorpelschicht in menschlichen Gelenken könnte durch die beladenen Nanopartikel effektiv durchdrungen werden.

„Wir haben einen Weg gefunden, die geschädigten Knorpelzellen direkt zu erreichen. Jetzt können wir unterschiedliche Substanzen einsetzen, die auf diese Zellen einwirken“, sagt Paula Hammond vom Massachusetts Institute of Technology in Cambridge. Da der Knorpel nicht von Blutgefäßen durchzogen ist, können injizierte Wirkstoffe nur durch Diffusion in das Gewebe eindringen. Dabei haben kleine Moleküle mit positiven Ladungen einen Vorteil, da sie von den negativen Ladungen der Knorpelmatrix angezogen werden. Die Forscher synthetisierten daher eine Substanz mit diesen Eigenschaften aus der Stoffklasse der Dendrimere, die sich mit einem therapeutischen Wirkstoff verbinden und diesen in das Knorpelgewebe transportieren kann. Die baumartig verzweigten Makromoleküle aus Polyamidoamin bildeten Nanopartikel mit einem Durchmesser von weniger als zehn Nanometern. Zur Vermeidung schädlicher Nebenwirkungen wurden die zahlreichen positiven Ladungen auf der Oberfläche teilweise durch Polyethylenglycol abgeblockt. An diese Partikel koppelten die Wissenschaftler den Wachstumsfaktor IGF-1, der Knorpelzellen schützt, ihre Vermehrung fördert und entzündungshemmend wirkt. In dieser Form in das Kniegelenk von Ratten injiziert, blieb der Wachstumsfaktor zehnmal länger im Knorpelgewebe als nach Injektion des ungebundenen Wirkstoffs. Die Halbwertszeit von freiem, ins Gelenk injiziertem IGF-1 betrug zehn Stunden. Mit der Trägersubstanz verlängerte sich diese auf bis zu vier Tage. Freies IGF-1 erreiche nur ein bis zwei Prozent des menschlichen Knorpelgewebes und dringe nur etwa 0,02 Millimeter tief ein, schreiben die Forscher. In Versuchen mit Gelenksknorpel von Kühen drang der an die Nanopartikel gebundene Wachstumsfaktor etwa einen Millimeter in das Gewebe ein. Um alle Knorpelzellen im Gelenk eines Menschen zu erreichen, müssten ein bis zwei Millimeter durchdrungen werden.

Bei Ratten verringerte eine einmalige Injektion von trägergebundenem IGF-1 die Knorpelschäden einer Kniegelenksarthrose in vier Wochen um 60 Prozent. Dabei traten keine Gewebeschäden in Leber, Nieren und Lungen auf. Da die Knorpelschicht bei Ratten etwa zehnmal dünner ist als beim Menschen, sollen zunächst Experimente mit Kühen zeigen, ob ein vergleichbarer Therapieerfolg auch bei größerer Schichtdicke des Gelenksknorpels erreichbar ist. Wenn auch klinische Studien erfolgreich verlaufen, wären Behandlungen durch monatliche Injektionen in die erkrankten Gelenke möglich, vermuten die Autoren. Anstelle von IGF-1 könnten auch andere Wirkstoffe an die Nanopartikel gebunden werden und so die Therapie weiter verbessern.

**Tsunamis formten die Landschaft auf dem Mars**

**Gigantische Flutwellen könnten Sedimentablagerungen erklären und die Küstelinie eines frühen Ur-Ozeans entscheidend verändert haben**

Tucson (USA)/Berlin - Vor 3,4 bis 4 Milliarden Jahren soll ein riesiger Ozean auf dem Mars existiert haben. Laut einer vor einem Jahr veröffentlichten Studie könnte er beinahe die Hälfte der Nordhalbkugel mit einer Tiefe von bis zu 1600 Metern bedeckt haben. Allerdings fanden Wissenschaftler bisher keine Anzeichen für eine markante Küstenlinie, die diese Hypothese untermauern würde. Das Fehlen dieser Küstenlinie erklärt nun eine internationale Forschergruppe mit zwei Mega-Tsunamis. Laut des in der Fachzeitschrift „Scientific Reports“ veröffentlichten Berichts veränderten die Flutwellen die Topographie des Planetens maßgeblich.

„Die Tsunamis könnten von zwei Meteoriten verursacht worden sein, deren Einschläge jeweils Krater mit 30 Kilometern Durchmesser hinterließen“, sagt Thomas Platz von der Freien Universität Berlin. Zusammen mit seinen Kollegen vom Planetary Science Institute in Tucson und weiterer Institute in Spanien, China, den USA, Deutschland und Japan analysierte er Daten, die während mehrerer Marsmissionen seit 1996 vom Planeten aufgezeichnet wurden. Diese Menge an Daten von der Infrarot-Aufnahme bis zur Höhenmessung lieferten, ergänzt von einer Computersimulation, ein detailliertes Geländebild der potenziellen Küstenzone auf der nördlichen Marshemisphäre.

Aus den Geländestrukturen auf der vergleichsweisen flachen Nordhalbkugel folgerten die Forscher, dass zwei Einschläge im Abstand einiger Millionen Jahren jeweils einen Tsunami ausgelöst hatten. Riesige Wellen von bis zu 120 Metern Höhe könnten das Festland bis zu einige hundert Kilometer landeinwärts überflutet haben. “Vor 3,4 Milliarden Jahren verursachte ein Meteorit den ersten Tsunami. Die Welle bestand aus flüssigem Wasser“, sagt Alberto Fairén von der Cornell University. Die Geländebilder zeigten rinnenförmige Strukturen, die wahrscheinlich von dem zurückfließenden Wasser und Geröllmassen geformt wurden. Der spätere Tsunami jedoch ereignete sich offenbar in einer deutlich kälteren Phase. Denn zusätzlich zu den Rückflusskanälen entdeckten die Forscher Hinweise auf Flächen, die nach dem Tsunami länger von einer Eisschicht bedeckt waren. „Dieses Eis floss nie in den Ozean zurück“, sagt Fairén.

Diese Studie gibt eine plausible Erklärung auf die für einen Ozean untypische und schwach ausgeprägte Küstenlinie. Es ist zudem nicht unwahrscheinlich, dass weitere, bisher nicht identifizierte Tsunamis nach Meteoriten-Einschlägen oder auch schwere Beben die Topographie der Landschaft veränderten. Einen sicheren Beweis für die Existenz eines frühen Ozeans auf dem Mars liefert sie allerdings nicht. Doch auf zukünftigen Marsmissionen könnten die möglichen Küstengebiete eines Ur-Oezans in den Fokus genommen werden. Im Idealfall mit einem Roboter, der den Boden auf weitere Hinweise einer Überflutung untersuchen könnte.

**Genetisch veränderte Zimmerpflanze reinigt Wohnraumluft**

**Efeututen, die mit einem Kaninchen-Gen ausgestattet sind, können organische Schadstoffe wie Benzol und Chloroform aus der Luft aufnehmen und unschädlich machen.**

Seattle (USA) -  Die Luft in Wohnräumen enthält mehr oder weniger große Mengen an gesundheitsschädlichen organischen Verbindungen. Diese werden aus Möbeln freigesetzt, entstehen beim Kochen und Duschen oder gelangen von außen in die Zimmer. Amerikanische Forscher haben jetzt eine Zimmerpflanze genetisch so verändert, dass sie krebserregende Substanzen wie Benzol und Chloroform aus der Luft absorbieren und durch enzymatische Oxidation dauerhaft eliminieren kann. Die Sanierung sei so effektiv, dass ein Einsatz als Biofilter zur Luftreinigung in Innenräumen möglich wäre, berichten die Wissenschaftler im Fachblatt „Environmental Science & Technology“.

„Die Wohnungsluft ist stärker durch Schadstoffe belastet als die Luft in Büros oder Schulen“, schreiben die Forscher um Stuart Strand von der University of Washington in Seattle. Daher sind Kleinkinder und Heimarbeiter in erhöhtem Maß krebserzeugenden Stoffen ausgesetzt. Die derzeit verfügbaren physikalisch-chemischen Methoden zur Luftreinigung seien teuer und nicht für alle Arten von Schadstoffen geeignet. Einige normale Zimmerpflanzen können zwar beispielsweise den Gehalt an Formaldehyd in der Luft verringern. Um aber damit einen merklichen Effekt zu erzielen, wäre pro Wohnraum eine nicht akzeptable große Zahl an Pflanzen nötig.

Die Forscher steigerten die Effizienz der pflanzlichen Luftentgiftung, indem sie sich ein in Säugetieren vorhandenes Protein zunutze machten: Das Enzym Cytochrome P450 2e1 beschleunigt die Oxidation einer Vielzahl unterschiedlicher organischer Verbindungen, die dadurch unschädlich gemacht und leichter ausgeschieden werden können. Das Gen für dieses Enzym aus Kaninchen übertrugen die Wissenschaftler in das Erbgut der Efeutute (Epipremnum aureum). Diese Zimmerpflanze hat den Vorteil, dass sie anspruchslos ist und auch bei schwacher Lichtintensität noch gut wächst. Für die Messungen wurden kleine Pflänzchen in verschlossene 40-Milliliter-Glasgefäße mit fünf Milliliter Nährlösung übertragen. Dann erfolgte die Injektion einer definierten Menge an Benzol oder Chloroform. Nach drei Tagen hatte die Konzentration an Chloroform um 82 Prozent abgenommen, bei Benzol um mehr als 50 Prozent. Nach sechs Tagen war Chloroform gar nicht mehr und Benzol nur noch in sehr geringen Mengen nachweisbar. In Kontrollgefäßen mit normalen Pflanzen veränderte sich der Gehalt beider Schadstoffe nur geringfügig oder gar nicht.

Es ist bekannt, dass Cytochrom 450 auch andere in der Wohnraumluft enthaltene Schadstoffe wie Toluol und Naphthalin umsetzt. Daher könnte die genetisch veränderte Efeutute wahrscheinlich diese und weitere Substanzen ebenfalls eliminieren. Um Formaldehyd aus der Luft zu entfernen müsste allerdings ein weiteres Gen in das Erbgut der Pflanze eingeschleust werden. Aufgrund der berechneten Umsatzraten würde sich eine Phytosanierung durch Zimmerpflanzen für den praktischen Einsatz in Wohnräumen eignen, schreiben die Autoren. Die Nutzung solcher Biofilter sei wegen des geringen Energiebedarfs sehr kostengünstig, mit wenig Aufwand verbunden und daher dauerhaft möglich.

**6 Magnetospirillum: Bakterium mit Magnetsinn ist Mikrobe des Jahres**

**Magnetotaktische Bakterien bilden Nanokristalle aus Magnetit, die als Kompass für eine gerichtete Bewegung im Magnetfeld der Erde dienen**

Frankfurt -  Zur „Mikrobe des Jahres 2019“ wählten deutsche Mikrobiologen ein Bakterium mit winzigen Magneten, die sich wie eine Kompassnadel im Magnetfeld der Erde ausrichten. Die Gattung Magnetospirillum bildet im Zellinneren eine Kette von Nanokristallen aus dem Eisenoxid Magnetit und kann diese Struktur als Sensor für eine gerichtete Fortbewegung nutzen. Indem die Bakterien den magnetischen Feldlinien folgen, gelangen sie schneller in die von ihnen bevorzugten sauerstoffarmen Zonen am Boden der Gewässer. Die in Form und Größe ungewöhnlich einheitlichen Magnetitpartikel können für verschiedene medizinische Anwendungen eingesetzt werden, beispielsweise als Kontrastmittel bei der Magnetresonanztomographie, wie aus der Pressemitteilung der Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie (VAAM) hervorgeht. Ähnliche Strukturen von Magnetkristallen könnten auch Tieren zur Orientierung dienen, die wie Tauben, Zugvögel oder Lachse über einen Magnetsinn verfügen.

Es sei auch für ihn immer noch faszinierend, unter dem Mikroskop „Magnetospirillen – magnetisch einheitlich ausgerichtet – umherflitzen zu sehen“, sagt Dirk Schüler von der Universität Bayreuth. Er hatte 1990 als Student an der Universität Greifswald im Schlamm eines kleinen Flusses ein neues, später als Magnetospirillum gryphiswaldense bezeichnetes Bakterium entdeckt. Es ist heute die genetisch am besten erforschte Art der magnetotaktischen Mikroben, die gar nicht so selten vorkommen und in Meer- und Süßwasser zu finden sind. Den meisten Biologen erschien es aber zunächst wenig glaubhaft, als 1963 Salvatore Bellini erstmals von Bakterien mit magnetischen Eigenschaften berichtete. Doch inzwischen sind mehrere Gattungen und Arten von Mikroben bekannt, die sich gerichtet im magnetischen Feld bewegen. Betrachtet man einen Schlammtropfen aus einem Teich oder Tümpel im Phasenkontrastmikroskop und hält einen Stabmagneten an eine Seite des Objektträgers, sammeln sich magnetotaktische Bakterien am Tropfenrand. Dreht man den Magneten um, schwimmen sie in die Gegenrichtung.

Magnetospirillen sind durch Geißeln bewegliche, schraubig gewundene Wasserbakterien. Sie nehmen große Mengen an Eisenionen auf und bilden daraus pro Zelle 15 bis 30 jeweils 45 Nanometer große Kristalle aus Magnetit (Fe3O4). Diese sind von einer Membran umgeben, über die sie als sogenannte Magnetosomen in gerader Kette und parallel zur Längsachse an die Proteine eines Zellskeletts angeheftet werden. Das verhindert, dass die Minimagnete durch gegenseitige Anziehung verklumpen. Stattdessen wirken sie zusammen als Stabmagnet, der sich und damit auch die Bakterienzelle parallel zu den Feldlinien des Erdmagnetfeldes ausrichtet. Die schräg nach unten gerichteten Feldlinien weisen ihnen den Weg in eine Zone mit ausreichend geringer Sauerstoffkonzentration.

„Unerwartet viele Gene sind an der Synthese und Anordnung der Magnetosomen beteiligt – eine der kompliziertesten Strukturen, die wir aus Bakterien kennen“, sagt Schüler. Inzwischen ist es sogar gelungen, die für den Aufbau der Magnetosomen notwendigen mehr als 30 Gene auf andere Bakterien zu übertragen und diese dadurch zu „magnetisieren“. Neben der Funktion als Kompass zur Orientierung im Raum könnten die Magnetosomen noch auf andere Weise für die Bakterien nützlich sein, etwa als „elektrochemische Batterie“ zur Energiegewinnung oder als Eisenspeicher. Mit der „Mikrobe des Jahres“ will die VAAM auf die Vielfalt der Mikroben und ihre bedeutsame Rolle für Ökologie, Gesundheit und Wirtschaft aufmerksam machen.

**Öst65: Neuer Meteoriten-Typ entdeckt**

**Seltener Fund in Schweden gibt Hinweise auf Asteroidenkollision vor 470 Millionen Jahren**

Lund (Schweden) - Meteoriten eröffnen einen Blick in die Frühzeit unseres Sonnensystems. Ein Großteil der bisher auf der Erde entdeckten Meteoriten traf bei einem Schauer vor etwa 470 Millionen Jahren auf die Erdoberfläche. Nun entdeckten schwedische Wissenschaftler einen bislang einzigartigen Meteoriten, der neue Hinweise auf die Ursache dieses Schauers liefern könnte. In der Fachzeitschrift „Nature Communications“ berichten sie, dass die Zusammensetzung des nun gefundenen Meteoritens, Österplana 065 genannt, sich deutlich von der aller anderen Funde unterscheidet.

„Dieser Fund zeigt uns, dass die Meteoriten, die die Erde in der Vergangenheit trafen, sich stark von den heute auftreffenden Meteoriten unterscheiden“, sagt Birger Schmitz vom Labor für Astrogeobiologie der Universität Lund. Mit seinen Kollegen fand er Österplana 065, oder kurz Öst 65, in einem Kalksteinsediment im Süden Schwedens. Dieser uralte Meeresboden entstand im Zeitalter des Ordovizium vor 470 Millionen Jahren. Rund um den knapp zehn Zentimeter großen Meteoriten fanden die Forscher über 100 sogenannte L-Chondriten, die mit etwa 35 Prozent aller Funde zur zweithäufigsten Meteoritenklasse zählen.

Schmitz und Kollegen analysierten nun die Zusammensetzung von Öst 65 unter besonderer Beachtung der enthaltenen Chrom- und Sauerstoffisotope. Obwohl Öst 65 zur gleichen Zeit auf die Erde gelangte wie die L-Chondriten, wies sein Aufbau deutliche Unterschiede auf. Die Wissenschaftler vermuten daher, das Öst 65 von dem Asteroiden stammte, der mit dem Ursprungsasteroiden der L-Chondriten kollidierte und den Meteoritenschauer auslöste. Da kein weiterer Meteorit jüngeren Datums Ähnlichkeiten mit Öst 65 aufweist, ist es wahrscheinlich, dass sein Ursprungsasteroid bei der Kollision völlig zerstört wurde. Der Fund von Öst 65 zeigt, dass Meteoriten wertvolle Informationen über die Geschichte des Sonnensystems und damit auch seiner Planeten liefern können. Sowohl Meteoritenschauer als auch der Einschlag einzelner Himmelskörper beeinflussten die Entwicklung des Lebens auf der Erde maßgeblich. „Es wir zunehmend klarer”, sagt Schmitz, „wie die Geschichte des Lebens auf der Erde mit astronomischen Prozessen verknüpft ist.“

**Pyroelektrisches Kraftwerk gewinnt Strom aus Abwärme**

**Prototyp belegt, dass schon ein kleiner Temperaturanstieg genügt, um elektrischen Strom zu erzeugen.**

Berkeley (USA) - Wenn Benzin in einem Motor verbrennt oder Strom durch Computerchips fließt, geht ein Großteil der eingesetzten Energie als Abwärme verloren. Insgesamt sind diese Verluste mit fast 70 Prozent alles andere als gering. Pyroelektrische Stromgeneratoren könnten in Zukunft einen kleinen Teil dieser Abwärme wieder in elektrischen Strom verwandeln. Kalifornische Wissenschaftler stellen nun in der Fachzeitschrift „Nature Materials“ einen Prototypen für ein solches Minikraftwerk vor, der bereits kleine Temperaturunterschiede effizient nutzen kann.

Wird ein pyroelektrisches Material ein wenig erwärmt, trennen sich elektrische Ladungen auf und an der Oberfläche der meist kristallinen Substanzen wird eine elektrische Spannung wird. Dieser Effekt wird heute bereits für empfindliche Wärmesensoren etwa in Bewegungsmeldern genutzt. Lane W. Martin und seine Kollegen von der University of California in Berkeley gingen nun einen Schritt weiter und fertigten ein pyroelektrisches Minikraftwerk aus einer hauchdünnen Schicht eines speziellen Bleititanats. Auf dieses Modul legten sich eine kleine Heizwendel, mit der sie die Umwandlung von Wärme in Strom genau untersuchen konnten.

Kontrolliert heizten die Wissenschaftler ihr Minikraftwerk auf bis zu 120 Grad Celsius auf. Bei jeder Erwärmung entstand ein messbarer Stromfluss von einigen Nanoampere. Um größere Ströme zu erzeugen, wiederholten sie diesen Vorgang bis zu eintausend Mal pro Sekunde. Das war möglich, da sich die dünne Bleititanatschicht binnen weniger Millisekunde wieder auf Raumtemperatur abkühlte. Die größte Leistungsdichte mit 526 Watt pro Kubikzentimeter zeigte der Prototyp bei eintausend Heizzyklen pro Sekunde und einer Temperaturdifferenz von 56 Grad. Die größte Energiedichte mit gut einem Joule pro Kubikzentimeter ergab sich bei 40 Heizzyklen pro Sekunde und einem Aufheizen um 90 Grad.

Dieses Grundlagenexperiment zeigt, dass schon relativ geringe Temperaturunterschiede für eine pyroelektrische Stromerzeugung ausreichen. Die Ausbeute ist zwar gering, genügt aber zum Betrieb von Sensoren oder elektronischen Uhren. Um aus Abwärme elektrischen Strom zu erzeugen, wird bisher meistens mit Modulen aus thermoelektrischen Materialien gearbeitet. Doch diese benötigen im Vergleich zu pyroelektrischen Modulen deutlich höhere Temperaturunterschiede von einigen hundert Grad, um über die Erzeugung langsamer und schneller Elektronen in dem Material nutzbare Ströme zu erzeugen.

Sowohl thermo- als auch pyroelektrische Substanzen haben das Potenzial, in Zukunft etwas Strom aus Abwärme zurück zu gewinnen. Für hohe Temperaturunterschiede wie etwa am Auspuff eines Autos empfehlen sich thermoelektrische Minikraftwerke. Schnell getaktete Heizphasen mit geringerem Temperaturanstieg wie sie bei Computerchips auftreten könnten mit pyroelektrischen Modulen effizienter genutzt werden.

**7 Warum krank sein müde macht**

**Bei einer Infektion wehrt ein antimikrobieller Eiweißstoff die Erreger ab und verstärkt gleichzeitig den Schlaf – zumindest bei Taufliegen, vielleicht auch bei Menschen.**

Philadelphia (USA) -  Wer krank ist, schläft mehr und wird dadurch wahrscheinlich schneller gesund. Jetzt haben amerikanische Forscher bei Fliegen einen Eiweißstoff entdeckt, der bei einer Infektion auf zweifache Weise wirkt: Das Peptid Nemuri, benannt nach dem japanischen Wort für Schlaf, wirkt einerseits wie ein Antibiotikum und verlängert andererseits die tägliche Schlafdauer. Einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Immunabwehr und Schlaf – vermittelt durch einen noch nicht identifizierten Botenstoff – könnte es auch beim Menschen geben, schreiben die Wissenschaftler im Fachjournal „Science“.

„Unsere Studie zeigt eine direkte Verbindung zwischen Schlaf und Immunsystem und liefert eine mögliche Erklärung dafür, wie das Schlafbedürfnis bei einer Erkrankung zunimmt“, sagt Amita Sehgal von der University of Pennsylvania in Philadelphia. Auf der Suche nach Genen, die eine schlaffördernde Wirkung haben, erzeugte ihr Forscherteam genetisch veränderte Taufliegen (Drosophila melanogaster), in deren Erbgut jeweils eines von insgesamt 8000 getesteten Genen übermäßig aktiviert war. Nur in einem einzigen Fall verlängerte und vertiefte sich dadurch der Schlaf der Fliege. Dieses Gen steuerte die Produktion eines Peptids, das sich nicht nur auf den Schlaf auswirkte, sondern auch antimikrobielle Eigenschaften hatte.

Der Nemuri genannte Eiweißstoff wird in normalen Fliegen außerhalb des Gehirns ständig gebildet. Im Gehirn dagegen entsteht es nur bei einer Infektion, bei Schlafentzug oder in anderen Stresssituationen, wobei es schlaffördernd wirkt und die Überlebenschance infizierter Fliegen erhöht. Genetisch veränderte Fliegen, denen das Nemuri-Gen ganz fehlte, waren leichter aus ihrem Schlaf zu wecken und hatten bei einer Infektion eine geringere Schlafdauer als normale Fliegen. Die Forscher vermuten, dass Nemuri im Gehirn durch einen noch unbekannten Mechanismus das Schlafbedürfnis bei Stress verstärkt und außerhalb des Gehirns die Immunabwehr als körpereigenes Antibiotikum unterstützt.

Auch Wirbeltiere produzieren antimikrobielle Peptide. Noch ist nicht bekannt, ob eines davon ebenfalls eine schlaffördernde Wirkung hat oder ob diese Funktion von einem immunologischen Botenstoff, einem Cytokin, übernommen wird. Es gibt Hinweise darauf, dass auch Kaninchen und Mäuse eine Infektion umso eher überleben, je mehr sie schlafen. Verstärkte Müdigkeit ist eine Begleiterscheinung verschiedener Erkrankungen des Menschen, die manchmal noch nach der Genesung anhält. Möglicherweise sei das die Folge einer Fehlregulation, wobei das zunächst hilfreiche verstärkte Schlafbedürfnis nicht wieder rückgängig gemacht wird, schreiben Grigorios Oikonomou und David Prober vom California Institute of Technology in Pasadena in einem begleitenden Kommentar.

**Zink Schwamm macht Akus sicherer**

**Poröse Metallstrukturen legen Basis für eine leichte und günstige Alternative zu Lithiumionen-Akkus**

Washington (USA) - So leistungsfähig Lithiumionen-Akkus mittlerweile sind, bergen sie je nach Verarbeitung ein Explosionsrisiko. So musste erst 2016 der koreanische Konzern Samsung eine Tablet-Baureihe wegen Überhitzungsgefahr der Akkus zurückrufen. Eine sichere Alternative schlagen nun amerikanische Wissenschaftler mit einer Renaissance der Nickel-Zink-Batterie vor, die bisher nicht mehrfach aufgeladen werden konnte. In der Fachzeitschrift „Science“ berichten sie über erste Prototypen, die sogar eine mit Lithiumionen-Akkus vergleichbare Speicherkapazität lieferten. Verantwortlich dafür war der schwammartige Aufbau der Zink-Elektrode, der eine Selbstzerstörung der Nickel-Zink-Batterien verhinderte.

„Der Schlüssel zu wieder aufladbaren Zink-Batterien liegt im kontrollierten Verhalten des Metalls während der Ladezyklen“, sagt Joseph F. Parker vom U.S. Naval Research Laboratory in Washington. Bisher enthielten diese Batterien Anoden aus Zinkpulver, in denen beim Ladeprozess längliche, scharfe Kristallstrukturen, sogenannte Dendriten, wuchsen. Diese durchstießen die Trennschicht zwischen den Elektroden und verursachten Kurzschlüsse mit der Nickel-Kathode. Daher tauschten Parker und seine Kollegen das Zinkpulver gegen einen porösen Metallschwamm aus Zink aus. Dank dieser dreidimensionalen Struktur entstanden während der Ladezyklen keine zerstörenden Dendriten mehr.

Parker und Kollegen testeten die Ladeeigenschaften mehrerer Prototypen, die aus Stapeln aus Metallelektroden und Trennmembranen, jeweils umhüllt von einem Nylonmantel, bestanden. So entluden sie eine Nickel-Zink-Batterie möglichst tief und erhielten mit mehr als 100 Wattstunden pro Kilogramm bei einer konstanten Spannung von 1,93 Volt eine spezifische Energie vergleichbar mit Werten von kommerziellen Lithiumionen-Akkus. Damit schöpfte die Batterie gut 90 Prozent seiner theoretischen Kapazität aus. Allerdings hielt der Stromspeicher dieser starken Beanspruchung nur knapp 100 Ladezyklen stand. Die Stabilität müsste auf einige tausend Ladezyklen gesteigert werden, um Lithiumionen-Akkus ersetzen zu können.

Deutlich länger hielten Nickel-Zink-Batterien, wenn sie nur zum Teil entladen wurden. Die Stabilität gipfelte in über 50.000 Ladezyklen bei einer spezifischen Energie von bis zu 40 Wattstunden pro Kilogramm. Mit diesem Wert kann sie immerhin mit herkömmlichen Bleisäure-Systemen konkurrieren, die als Starterbatterie in Autos angewandt werden. Zudem wären sie deutlich leichter als Blei-Batterien und müssten nur alle zehn Jahre ausgetauscht werden.

In weiteren Versuchen wollen Parker und Kollegen in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen EnZinc in San Anselmo das große Potenzial von wiederaufladbaren Batterien auf Zinkschwamm-Basis noch genauer überprüfen. Auch eine höhere Stabilität bei tiefer Entladung könnte erreicht werden. Gelingt dieser Schritt, lockt eine Technologie, die mit Zink und Nickel günstige und weltweit gut verfügbare Materialien nutzt, die sich zudem noch effizient recyceln lassen.

**Massive Kollisionen brachten Metale zur jungen Erde**

**Nach der Bildung des Monds schlugen offenbar mehrere Objekte mit Durchmessern von über 1000 Kilometern auf dem Planeten ein**

Boulder (USA) - In ihrer frühen Entwicklungsphase vor etwa 4,5 Milliarden Jahren kollidierte die Erde vermutlich mit dem marsgroßen Protoplaneten Theia. Aus den Trümmern entstand der Mond. Auch nach diesem gewaltigen Zusammenstoß schlugen noch weitere Himmelskörper auf der Erde ein – teils mit Durchmessern von mehr als tausend Kilometern. Diese sogenannten Planetesimale trugen wahrscheinlich deutlich mehr zur heutigen Erdmasse bei als bisher angenommen. Zu diesem Ergebnis kommen Wissenschaftler mithilfe von detaillierten Computermodellen, die sie nun in der Fachzeitschrift „Nature Geoscience“ präsentieren.

„Wir entdeckten, dass Metalle und Eisen-liebende (siderophile) Elemente von großen Projektilen nicht homogen im Mantel und Erdkruste verteilt wurden“, sagt Simone Marchi vom Southwest Research Institute in Boulder. Gemeinsam mit seinen Kollegen analysierte er in Computersimulationen, wie der Aufprall von Himmelskörpern mit Durchmessern zwischen 1000 und 4000 Kilometern auf die frühe Erde ablief. Bei unterschiedlichen Aufschlagwinkeln und mit Geschwindigkeiten von bis zu 24 Kilometern pro Sekunde war die Wucht offenbar so groß, dass ein Teil der mitgeführten Silikate und stark siderophilen – also eisenliebenden – Elemente wie Gold, Platin und Iridium bis in den Erdkern gelangte und dort dauerhaft eingelagert wurde. Die verbleibende Menge verteilte sich im Erdmantel und in der Erdkruste.

Bisher nahmen Forscher an, dass die von den Planetesimalen stammenden Metalle allesamt im Erdmantel verblieben. Demnach dürfte ein halbes Prozent der gegenwärtigen Erdmasse auf Einschläge in den Hunderten von Millionen Jahren nach der Mondentstehung zurückgehen. Die neuen Ergebnisse – nach denen deutlich weniger der angelieferten siderophilen Elemente im Erdmantel landeten – legen dagegen nahe, dass die Erde in dieser Zeit die doppelte bis fünffache Materialmenge durch Kollisionen mit Planetesimalen aufgenommen hat.

Für ihre Theorie führen die Forscher um Marchi auch Analysen von uralten Gesteinen in Grönland und Südafrika an. Diese weisen überdurchschnittlich hohe Anteile an Wolfram auf, die ihren Ursprung womöglich in den Kernen der aufgeprallten Planetesimale haben. Weitere Gesteinsanalysen könnten die neue, auf Simulationen beruhende Theorie künftig untermauern.

**8 Studie bestätigt möglichen Einfluss der Darmflora auf die Psyche**

**Enger statistischer Zusammenhang zwischen bestimmten Bakteriengruppen und bakteriellem Stoffwechsel mit psychischer Gesundheit nachgewiesen. Darmbakterien kommunizieren mit dem Gehirn.**

Leuven (Belgien) -  Das Gehirn des Menschen steht durch Nerven, Hormone und das Immunsystem in engem Kontakt mit der Darmflora. Doch die Kommunikation erfolgt in beiden Richtungen, denn auch die Darmmikroben beeinflussen Entwicklungs- und Stoffwechselprozesse, möglicherweise sogar Psyche und Verhalten ihres Wirtes. Jetzt konnten belgische Forscher einzelne Gruppen von Darmbakterien identifizieren, deren Vorkommen mit einem geringeren oder größeren Risiko für Depressionen und generellem Wohlbefinden verbunden ist. Aus genetischen Analysen schließen sie zudem, dass zahlreiche Bakterien des Darm-Mikrobioms neuroaktive Stoffwechselprodukte freisetzen, von denen sich einige als Neurotransmitter positiv oder negativ auf die psychische Gesundheit auswirken könnten, berichten die Wissenschaftler im Fachblatt „Nature Microbiology“. Die Ergebnisse weiterer Forschungsarbeiten würden sich daher für Diagnose und Therapie psychischer Störungen möglicherweise als nützlich erweisen.

„Die Beziehung zwischen dem Stoffwechsel der Darmmikroben und der psychischen Gesundheit ist ein kontroverses Thema in der Mikrobiomforschung“, sagt Jeroen Raes von der Katholieke Universiteit Leuven. Hinweise darauf, dass mikrobielle Stoffwechselprodukte auf das Gehirn – und damit auf Emotionen und Verhalten – einwirken könnten, seien hochinteressant. Doch bisher hätte man die Darm-Hirn-Kommunikation überwiegend in Tierversuchen und kaum beim Menschen erforscht. Die Arbeitsgruppe von Raes wertete Daten von 1054 Belgiern aus, deren Darmflora vollständig analysiert worden war. Zusätzlich standen Befunde von Ärzten über depressive Störungen zur Verfügung und jeder Einzelne gab Auskunft über seine körperliche Gesundheit, das emotionale Befinden und die Zufriedenheit mit seinem Sozialleben.

Es ergab sich ein enger statistischer Zusammenhang zwischen der Diagnose von Depressionen und verminderten Keimzahlen von Bakterien der Gattungen Coprococcus und Dialister. Diese Beziehung war unabhängig von der Einnahme eines Antidepressivums. Menschen mit einem hohen Anteil an Faecalibacterium- und Coprococcus-Arten, die Buttersäure bilden, stuften ihre Lebensqualität höher ein als andere. Bei denen, die gegen Depressionen behandelt wurden, kamen größere Mengen an Butyricicoccus-Arten vor. Die Resultate bestätigten sich bei einer weiteren Gruppe von 1063 Menschen.

Schließlich suchten die Forscher in den Genomen von 532 Arten der Darmbakterien nach Genen, die die Produktion oder den Abbau von 56 neuroaktiven Substanzen steuern. Ihre spezielle Analysetechnik ergab, dass zahlreiche Mikroben über solche Gene verfügen, die unter anderem zur Bildung des Neurotransmitters Gamma-Aminobuttersäure (GABA) führen oder zu einem Abbauprodukt des Dopamins. „Im menschlichen Darm werden zahlreiche neuroaktive Verbindungen produziert“, sagt Erstautorin Mireia Valles-Colomer. „Wir wollten untersuchen, welche Keimarten solche Moleküle freisetzen, abbauen oder verändern.“ Dann könnte eine gestörte Darmflora als Ursache psychischer Störungen erkannt und ein Patient gezielt behandelt werden. Noch steht allerdings der definitive Nachweis kausaler Beziehungen aus.

**Fensterscheiben erzeugen Strom**

**Hauchdünne Kristallschichten verdunkeln das Glas auf Wunsch und verwandeln es zur Solarzelle**

Berkeley (USA) - Mit kleinen elektrischen Spannungen lassen sich durchsichtige Fenster bereits heute auf Knopfdruck verdunkeln. Diese Funktion kombinierten nun amerikanische Wissenschaftler mit einem Wandel zu einem photovoltaisch aktiven Fenster, dass im verdunkelten Zustand sogar Strom erzeugen konnte. Wie sie in der Fachzeitschrift „Nature Materials“ berichten, beruhte der Wandel zu einem verdunkelten Solarfenster auf einem Phasenwechsel spezieller Perowskit-Schichten. Anwendungen dieser Technologie sehen die Forscher für die Verglasung von Gebäuden mit möglichst hoher Energieeffizienz oder auch für Autoscheiben und elektronische Anzeigetafeln.

„Dieses intelligente Solarfenster kann zwischen einem durchsichtigen und einem eingefärbten, photovoltaisch aktiven Zustand hin und her geschaltet werden“, sagt Jia Lin von der University of California in Berkeley. Für den Prototypen deponierte Lin gemeinsam mit seinen Kollegen eine rund 200 Nanometer dünne Schicht aus einem speziellen Caesium-Perowskit auf einem durchsichtigen Glasträger. Auf der Oberseite schirmten die Forscher die Perowskit-Schicht mit dünnen Lagen aus Zinnoxid und Indiumzinnoxid vor Feuchtigkeit und Luft ab. Bei Raumtemperatur ließ dieses Solarfenster mehr als 80 Prozent des sichtbaren Lichts hindurch. Nach einer Wärmebehandlung und unter Sonneneinstrahlung färbte es sich orange-rot ein und wandelte sich parallel zu einer Solarzelle mit gut sieben Prozent Wirkungsgrad.

Verantwortlich für diesen Wandel war ein Phasenwechsel der Perowskit-Schicht. Im durchsichtigen Zustand lagen die Kristalle in einer kubischen Struktur und waren weitestgehend durchsichtig. Bei einer Temperatur von 105 Grad Celsius jedoch bildete sich die weniger transparente Perowskit-Kristallstruktur aus. Diese blockierte gut zwei Drittel des sichtbaren Lichts und war zugleich photovoltaisch aktiv. Auf Raumtemperatur abgekühlt und etwas Feuchtigkeit ausgesetzt, ließ sich dieser Phasenwechsel wieder umkehren; das Solarfenster wurde abermals durchsichtig. Pilotversuche zeigten, dass dieser Wechsel einige Dutzend Male ohne große Einbußen beim Wirkungsgrad möglich war.

Dieser Prototyp belegt, dass schaltbare Fenster nicht nur Sonnenlicht auf Wunsch abschirmen, sondern zugleich photovoltaischen Strom erzeugen können. Vor einer Anwendung in Bürogebäuden oder als Autoscheibe müsste jedoch die bisher relativ hohe Phasenwechseltemperatur von knapp über 100 Grad gesenkt werden. Auch die für das reversible Schalten notwendige Feuchtigkeit könnte die Stabilität der Perowskit-Schichten auf Dauer beeinträchtigen. Doch da sich die Zusammensetzung von Perowskit-Materialien stark variieren lässt, könnte in weiteren Studien eine Materialmischung ohne diese Nachteile gefunden und auch der Wirkungsgrad noch gesteigert werden.

**Ozean unter Eis**

**Messungen der Saturnsonde Cassini deuten auf riesige Wassermassen am Südpol des Saturnmondes Enceladus.**

Rom (Italien) - Bereits seit einigen Jahren umrundet die amerikanisch-europäische Raumsonde Cassini den Saturn und seine Monde. Dabei hat sie neben anderen wissenschaftlichen Entdeckungen auch die Tigerstreifen auf dessen Begleiter Enceladus untersucht und dünne Fontänen aus Wasserdampf nachweisen können, die bis über 400 Kilometer in die Höhe schießen. Das entspricht fast dem Durchmesser dieses vollständig von Eis bedeckten Trabanten. Forscher vermuten deshalb unter der Eisdecke große Wasserreservoirs. Wenn die starke Gravitation des Saturn den Mond durchknetet, erhitzt sich dieser unterirdisch. Wie bei irdischen Geysiren ist wohl dieser Effekt für die hohen Fontänen verantwortlich. Neue Ergebnisse von Cassini zeigen nun, dass nicht das eine oder andere kleine Wasserreservoir, sondern ein riesiger unterirdischer Ozean die Weltraum-Geysire antreibt. Wie die beteiligten Wissenschaftler im Fachblatt „Science“ schreiben, gelangen ihnen diese Messungen, als Cassini in den letzten Jahren mehrfach knapp über Enceladus’ Oberfläche flog. Dabei konnten die Forscher das Schwerefeld des Mondes sehr exakt ausmessen und fanden eine Anomalie unter der südlichen Eisdecke.

„Aus unseren Daten können wir folgern, das sich in der Tiefe ein dichteres Material befinden muss: flüssiges Wasser, etwa sieben Prozent dichter als Eis“, sagt Luciano Iess von der römischen Universität La Sapienza, Erstautor der Studie. Die Messungen und die Analyse gestalteten sich schwierig: Enceladus ist kein besonders großer Mond und seine Schwerkraft entsprechend schwach. Die Wissenschaftler nutzten deshalb drei sehr enge Vorbeiflüge von Cassini, bei denen die Raumsonde sich dem Eismond auf nur 100 Kilometer näherte und deshalb den Einfluss seiner Schwerkraft besonders stark spüren konnte. Mit Hilfe der großen Radioteleskope des NASA Deep Space Network verfolgten die Forscher dann mit höchster Präzision die Flugbahn von Cassini jeweils über mehrere Stunden, wobei ihnen ein Mikrowellensender an Bord der Raumsonde behilflich war. Diese drei Überflüge geschahen bereits in den Jahren 2010 bis 2012, die Analyse der Daten ist aber erst jetzt abgeschlossen.

Die Ergebnisse weisen auf einen etliche Kilometer tiefen Ozean hin, der sich rund dreißig bis vierzig Kilometer unter der dicken Eisdecke befindet und der sich vermutlich bis in mittlere südliche Breitengrade erstreckt. Er wäre etwa so groß wie der Obere See zwischen den USA und Kanada, das zweitgrößte Binnengewässer der Erde. An seinem Grund beginnt wahrscheinlich der Gesteinskern des Mondes. Unterseeische vulkanische Aktivitäten könnten dort zu komplexen chemischen Prozessen führen, wie sie vielleicht auch auf der frühen Erde vorlagen. Die Messungen von Cassini deuten auch auf einen mehrschichtigen Aufbau des gesamten Mondinneren hin. Wahrscheinlich besitzt Enceladus unter Eisdecke und Ozean einen Gesteinskern mit niedriger Dichte, der von einem Mantel umgeben ist.

**9 Stickstoffmangel im Dickdarm begrenzt Vermehrung von Bakterien**

**Dauerhafte Nährstoffknappheit unterdrückt Krankheitserreger und ermöglicht dem Körper, die Gesamtkeimzahl und das Artenspektrum des Mikrobioms zu kontrollieren.**

Durham (USA) -  Der Mangel an Stickstoff begrenzt das Wachstum vieler Pflanzen. Deshalb können Dünger die Erträge von Nutzpflanzen in der Landwirtschaft steigern. Auch im Dickdarm des Menschen, einem extrem dicht mit Mikroben besiedelten Lebensraum, stehen nicht alle lebensnotwendigen Nährstoffe im Überfluss zur Verfügung: Stickstoffmangel hemmt die Vermehrung und verstärkt die Konkurrenz zwischen den verschiedenen Gruppen von Darmkeimen, wie amerikanische Biologen im Fachblatt „Nature Microbiology“ berichten. Offenbar profitiert unser Körper von dieser Situation, da sie ihm erlaubt, die Vermehrung der Darmbewohner streng zu kontrollieren. Eine übermäßige Stickstoffzufuhr durch proteinreiche Kost kann aber die Zusammensetzung des sogenannten Mikrobioms verändern und das normale Gleichgewicht der unterschiedlichen Mikrobenarten stören.

„Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass wir im Lauf der Evolution eine Möglichkeit entwickelt haben, unsere Darmbakterien im Zaum zu halten, indem wir sie durch Stickstoffmangel hungern lassen“, sagt Lawrence David von der Duke University in Durham. Das erkläre auch, warum die stark fleischhaltige, und damit protein- und stickstoffreiche Ernährung in den westlichen Industrieländern die Darmflora schädigen könnte. Denn dadurch würde zu viel Stickstoff aus der Nahrung bis in den Dickdarm gelangen und so die normale Kontrolle der Mikrobenvermehrung durch begrenzte Stickstoffzufuhr verhindern.

Zunächst überprüften die Forscher ihre Vermutung, dass eine ungenügende Versorgung mit Stickstoff das Wachstum von Darmbakterien beeinträchtigt. In Kotproben von 30 Säugetierarten analysierten sie das jeweilige Verhältnis zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Darmbakterien einerseits und des sonstigen Darminhalts andererseits. Es ergab sich in allen Fällen, dass die im Dickdarm verfügbaren stickstoffhaltigen Nährstoffe bei weitem nicht ausreichen, um eine optimale Vermehrungsrate zu ermöglichen. Dieser wachstumsbegrenzende Einfluss bestätigte sich in Fütterungsversuchen mit Mäusen: Eine vermehrte Stickstoffzufuhr in Form des Proteins Casein erhöhte die Gesamtzahl an Darmbakterien um das Zehnfache. Bei normaler Ernährung gelangen 80 bis 90 Prozent des in der Nahrung enthaltenen Stickstoffs bereits aus dem Dünndarm in das Blut. Um den restlichen Anteil konkurrieren dann die Mikroben im Dickdarm. Tatsächlich stellten die Biologen bei den Mäusen fest, dass sich der Stickstoffgehalt des Darminhalts über die gesamte Länge des Darmverlaufs immer weiter verringert.

Als die Forscher mit einem Stickstoffisotop markierte Aminosäuren in das Blut der Tiere injizierten, konnten sie einen Teil dieses Stickstoffs in den Darmbakterien nachweisen. Daraus schließen sie, dass die Mikroben nicht allein über den direkten Weg, also den Darminhalt, mit Stickstoff versorgt werden. Der Wirtsorganismus kann seine Darmflora offenbar auch füttern, indem er über die Darmschleimhaut Stickstoffverbindungen freisetzt. Damit verhindert er ein Absterben von Teilen seines Mikrobioms bei extremem Stickstoffmangel.

Weitere Untersuchungen ergaben, dass sich je nach verfügbarer Stickstoffmenge nicht nur die Gesamtzahl an Darmbakterien, sondern auch das Artenspektrum verändert. Eine gesunde Darmflora besteht aus Mikroben, die an dauerhaften Stickstoffmangel angepasst sind. Entsteht durch entsprechende Ernährung ein Überangebot an Stickstoff im Dickdarm, gewinnen andere Bakteriengruppen die Oberhand und der Wirt verliert die Möglichkeit, die Vermehrung zu kontrollieren. Das wäre nach Ansicht der Autoren vergleichbar mit der Eutrophierung eines Gewässers durch einen Überschuss an Nährstoffen, was ein massenhaftes Algenwachstum auslöst und eine Störung des ökologischen Gleichgewichts anzeigt. „Wenn wir die Konkurrenz der Darmmikroben um Nährstoffe beseitigen, verliert unser Körper die Fähigkeit zur Kontrolle, so dass sich Krankheitserreger leichter ausbreiten können“, sagt David. Ob neben Stickstoff auch andere essentielle Nährstoffe das Bakterienwachstum im Dickdarm begrenzen, sollen weitere Analysen zeigen.

**Trinkwasser dank Sonnelichts**

**Neuer Prototyp bietet optimierten Prozess für die Entsalzung von Meerwasser.**

Cambridge (USA) -  Verdunstet Meerwasser in Salinen unter Einstrahlung von Sonnenlicht, sind die dabei entstehenden Salzkrusten seit Jahrhunderten durchaus erwünscht. Aber bei der Gewinnung von Trinkwasser stören diese Ablagerungen und verringern die Effizienz von solaren Entsalzungsanlagen. Über eine Lösung dieses Problems berichten nun amerikanische Wissenschaftler in der Fachzeitschrift „Nature Communications“. Sie entwickelten eine solare Entsalzungsanlage, in der das Wasser nicht mehr im direkten Kontakt mit den Sonnenlicht absorbierenden Materialien stand. So konnten nicht nur salzige Ablagerungen vermieden werden, auch höhere Verdampfungstemperaturen waren möglich.

Für das kontaktlose Verdunsten von Meerwasser konzipierten Thomas A. Cooper und seine Kollegen vom Massachusetts Institute of Technology in Cambridge eine mehrschichtige solare Verdampfungsanlage. Die Oberfläche ihres Prototyps bestand aus einer dunklen, Sonnenlicht absorbierenden Schicht. Dafür sind schwarz lackierte Flächen oder auch spezielle, nanostrukturierte Werkstoffe einsetzbar. An der Unterseite dieses Absorbers brachten Forscher ein spezielles Emitter-Material an, das bei höheren Temperaturen bevorzugt Infrarot-Strahlung aussendete. Diese Wärmestrahlung wurde vom Salzwasser, das unmittelbar unter dem Emitter in einer dünnen Schicht zirkulierte, aufgefangen. Der dabei entstandene Wasserdampf erreichte Temperaturen von deutlich über 100 Grad Celsius und ließ sich über kleine Kanäle ableiten, abkühlen und zu salzfreiem Trinkwasser kondensieren.

Ihren viel versprechenden Prototyp testeten Cooper und Kollegen sowohl im Labor unter Einstrahlung künstlichen Sonnenlichts als auch während eines Sonnentags auf dem Dach ihres Instituts. Von kühlendem Wind abgeschirmt heizte sich die Absorberschicht schnell auf mehr als 100 Grad Celsius auf. Wie erwartet verdampfte das eingespeiste Salzwasser. Der Wasserdampf erreichte dabei sogar Temperaturen von bis zu 133 Grad. Nach diesen Versuchen schätzten die Forscher die Effizienz ihrer solaren Entsalzungsanlage auf etwa 25 Prozent. Mit einem einen Quadratmeter großen Modul ließen sich damit etwa zweieinhalb Liter Trinkwasser pro Tag bei einer solaren Strahlungsleistung von sechs Kilowattstunden pro Quadratmeter gewinnen.

„Mit diesem kontaktlosen Design umgehen wir das Problem störender Ablagerungen auf dem Absorbermaterial“, sagt Cooper. Zudem eröffneten seiner Meinung nach auch die erzielten hohen Dampftemperaturen weitere Anwendungen über die reine Trinkwassergewinnung hinaus. Denn der knapp 140 Grad heiße Wasserdampf könnte zum Kochen, Waschen und sogar zur Sterilisation von medizinischen Instrumenten in entlegenen Regionen genutzt werden. „Nach diesen Grundlagen-Versuchen wollen wir nun die Effizienz des Systems weiter erhöhen und dann die am besten geeigneten Anwendungen ermitteln“, sagt Cooper.

**Marsatmosphäre wird zweimal täglich kalt und warm**

**Wolken aus Wassereis sorgen dafür, dass die Lufttemperaturen auf dem Roten Planeten einem halbtäglichen Rhythmus folgen.**

Pasadena (USA) - Die Atmosphäre auf dem Mars ist sehr dünn und beträgt nur etwa ein Prozent der irdischen Lufthülle. Dennoch sorgt sie für überraschende Effekte: Sie erwärmt und kühlt sich im Halbtagesrhythmus wieder ab, schreiben Wissenschaftler aus den Vereinigten Staaten in den „Geophysical Research Letters“. Daten der Raumsonde Mars Reconnaissance Orbiter belegen, dass die Temperaturen in der mittleren Marsatmosphäre zweimal täglich um bis zu 32 Grad nach oben und unten wandern können. Eine Erklärung für den überraschenden Fund vermuten die Forscher in den Wolken aus Wassereis in der Marsatmosphäre.

„Wir sehen ein Temperaturmaximum zur Tagesmitte, aber auch eines kurz nach Mitternacht“, sagt Armin Kleinböhl vom Jet Propulsion Laboratory im kalifornischen Pasadena. Die Forscher haben mit dem Messinstrument Mars Climate Sounder an Bord der Raumsonde verschiedene Regionen auf dem Mars zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht. Es ist zwar bereits seit den 1970er Jahren bekannt, dass auf dem Mars Temperaturschwankungen im Halbtagesrhythmus auftreten können. Die Forscher hielten dies jedoch für eine Besonderheit, die nur bei Sandstürmen auf dem Roten Planeten auftreten sollte.

Nach den neuen Messungen treten diese Variationen aber das ganze Jahr über und auf dem ganzen Planeten auf. Mit Hilfe von Simulationen konnten die Forscher nachweisen, dass wahrscheinlich Wassereiswolken in zehn bis dreißig Kilometern Höhe für den Effekt verantwortlich sind. Obwohl sie für normales Licht beinahe transparent sind, absorbieren sie einen Teil der Wärmestrahlung, die der aufgewärmte Marsboden aussendet. Dabei heizen sie sich auf. Auf der Erde treten zwar ähnliche Bedingungen auf, aber nur in den obersten Atmosphärenschichten. Sie können sich nicht in die dichte, untere Atmosphäre fortpflanzen. Die Marsatmosphäre hingegen ist dünn und wasserreich genug. „Wir halten den Mars für eine kalte und wasserarme Welt“, so Kleinböhl, „doch enthält seine Atmosphäre mehr Wasserdampf als die oberen Schichten der Erdatmosphäre.“

**10 Nervensystem von Pflanzen entdeckt**

**Ein durch Blattfraß ausgelöster Alarm breitet sich durch elektrische Signale über das Gefäßsystem schnell in alle Pflanzenteile aus.**

Madison (USA) -  Pflanzen reagieren auf Fraßschäden oder andere Verletzungen durch ein schnell weitergeleitetes Alarmsignal. Dadurch kommt es innerhalb weniger Minuten auch in weit entfernten Pflanzenteilen zu Abwehrreaktionen. Amerikanischen Botanikern ist es jetzt erstmals gelungen, durch Einsatz fluoreszierender Sensoren diese Signalausbreitung sichtbar zu machen und in Filmaufnahmen zu dokumentieren. Zudem entdeckten sie neue Hinweise darauf, welche biochemischen Mechanismen diesem Prozess zugrunde liegen. Dabei fanden sie erstaunliche Parallelen zur Funktionsweise des Nervensystems, wie die Beteiligung bestimmter Ionenkanäle und eine zentrale Rolle des Botenstoffs Glutamat. Dieser breitet sich bei einer Verletzung schnell aus und aktiviert Ionenkanäle, durch die dann Kalziumionen in Zellen einströmen, berichten die Forscher im Fachjournal „Science“.

„Wir wussten, dass bei der Verletzung eines Blattes ein elektrisches Signal entsteht, das sich in der gesamten Pflanze ausbreitet“, sagt Simon Gilroy von der University of Wisconsin in Madison. Unbekannt war jedoch die biochemische Ursache des Signals und wie es sich fortpflanzt. Um zu prüfen, ob Kalziumionen daran beteiligt sind, erzeugten die Biologen eine gentechnisch veränderte Variante der Acker-Schmalwand (Arabidopsis thaliana), die ein Protein produziert, das bei Kontakt mit Kalzium fluoresziert. Mit Hilfe dieses Biosensors und einer hochempfindlichen Kamera ist es ihnen gelungen, Orte erhöhter Konzentrationen von Kalzium in der Pflanze sichtbar zu machen.

Ausgelöst durch den Blattfraß einer Raupe oder einen Schnitt mit der Schere zeigten Zeitrafferaufnahmen der Fluoreszenz, dass im verwundeten Blatt die Kalziumkonzentration innerhalb von zwei Sekunden anstieg. Dieses Kalziumsignal breitete sich mit einer Geschwindigkeit von einem Millimeter pro Sekunde aus und hatte nach etwa zwei Minuten alle Pflanzenteile erreicht. Ähnliche Experimente mit Pflanzen, die mit einem fluoreszierenden Biosensor ausgestattet waren, der auf die Aminosäure Glutamat reagierte, ließen auch einen Anstieg der Glutamatkonzentration an der Verletzungsstelle erkennen. Die Aminosäure verbreitete sich von dort aus entlang der Blattadern und über das Gefäßsystem des Sprosses. In den dabei kontaktierten Zellen aktivierte der Botenstoff Proteine, die als Ionenkanäle für Kalziumionen dienen, wodurch die Kalziumkonzentration in den Zellen anstieg. Die Ionenkanäle ähnelten den sogenannten Glutamatrezeptoren, die der Signalübertragung im Nervensystem von Wirbeltieren dienen. Mutierte Pflanzen ohne solche Rezeptoren reagierten auf Verletzungen nicht mehr mit den durch den Fluss von Kalziumionen erzeugten elektrischen Signalen.

Sobald in normalen Pflanzen das Kalziumsignal in den noch unverletzten Blättern eintrifft, wird dort verstärkt das Abwehrhormon Jasmonsäure gebildet. Das aktiviert Gene, die schließlich die Produktion von Giften und anderen Substanzen ankurbeln, um zum Beispiel Raupen den Appetit zu verderben und von einer weiteren Schädigung der Pflanze abzuhalten. Die eindrucksvollen Filmaufnahmen machen deutlich, dass sich Pflanzen einem Angreifer gegenüber nicht passiv verhalten, sondern durchaus zu schnellen Reaktionen und Schutzmaßnahmen fähig sind.

**Greifbare Daten**

**Im 3D-Drucker gefertigte Modelle stellen hochaufgelöste Bilddaten naturgetreuer nach als simulierte 3D-Ansichten auf dem Bildschirm.** Cambridge (USA) - Von der Kernspinaufnahme eines Kopfes bis zu Seismogrammen des Erdbodens liefern moderne Messmethoden umfassende Datensätze dreidimensionaler Strukturen. Diese Messdaten lassen sich erst nach einer aufwendigen Bearbeitung etwa auf 3D-Displays räumlich darstellen. Deutsche und amerikanische Forscher gehen nun mit einem ausgeklügelten 3D-Druck einen direkteren Weg. Wie sie in der Fachzeitschrift „Science Advances“ berichten, konnten sie mit unterschiedlich transparenten Harzen und Farbstoffen komplexe dreidimensionale Modelle drucken. Millionen Datenpunkte bildeten die Basis für die exakten räumlichen Abbildungen.

„Diese Methode mit ihren zahlreichen Anwendungen verknüpft digitale Daten mit ihrer physikalischen Erscheinungsform“, sagt Christoph Bader vom Media Lab des Massachusetts Institute of Technology in Cambridge. Zusammen mit seinen Kollegen entwickelte er ein Konzept, um dreidimensionale Datensätze sogar besser darzustellen als mit bereits weit entwickelten 3D-Displays. Denn bevor die räumliche Darstellung auf einem flachen Bildschirm betrachtet werden kann, müssen die Messungen mit mehreren Millionen Datenpunkten erst aufwendig nachbearbeitet werden. Bei diesem so genannten Rendern besteht jedoch das Risiko, dass die ursprünglichen Daten nicht vollständig oder gar etwas verfälscht wiedergegeben werden.

Die Lösung des Problems sah Bader in den heute bereits weit entwickelten 3D-Druckverfahren. So können 3D-Drucker bis zu sieben verschiedene Kunstharz-Substanzen in hauchdünnen Schichten und zusätzlich eingefärbt ausdrucken. Greifbare und von allen Seiten betrachtbare Objekte mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Mikrometern werden damit möglich. Bader und Kollegen nutzten nun digitale Datensätze verschiedener bildgebender Verfahren mit teils mehreren Millionen Datenpunkten. Über ein eigens entwickeltes Computerprogramm ordneten sie jedem Bildpunkt eine Art Rezeptur zu, die einer geeigneten Mischung unterschiedlich transparenter Druckharze und einer gewünschten Einfärbung entsprach.

In mehreren Versuchen steuerten die Wissenschaftler ihre 3D-Drucker mit diesen Rezepturen für jedes einzelne Voxel – also einem dreidimensionalen Bildpunkt entsprechend einem Pixel für eine zweidimensionale Darstellung auf einem Bildschirm. So entstanden aus Kernspinaufnahmen filigrane und vielfarbige Modelle eines menschlichen Gehirns oder detailgetreue Kopien einer fein strukturierten Skulptur aus einem Tempel auf Bali. Auch Simulationsdaten etwa von chaotischen Verwirbelungen von drei Flüssigkeiten oder die Molekülstrukturen von Proteinkristallen ließen sich mit diesem Druckverfahren in anschaulichen Objekten bannen.

Für diese gedruckten, etwa Schuhkarton großen Modelle erwartet Bader zahlreiche Anwendungen. Chirurgen könnten damit beispielsweise ihre Operation an einem Hirntumor besser planen. Archäologen erhalten eine neue Möglichkeit, um zusätzlich zu Fotos nun auch mit detailgetreuen Modellen ihre empfindlichen Fundstücke dauerhaft zu registrieren. Nicht zuletzt könnten die auf gemessenen Daten basierenden Modellen in der Lehre eingesetzt werden, um komplexe Strukturen von Biomolekülen oder physikalische Prozesse für Schüler und Studenten besser zu veranschaulichen.

**Keine Schwarzen Mini-Löcher in Sicht**

**In den Daten des Weltraumteleskops Kepler finden sich keine Hinweise auf massearme Schwarze Löcher, die beim Urknall entstanden sein könnten.**

San Diego (USA) - Die Suche nach kleinen Schwarzen Löchern, die durch unsere Galaxie vagabundieren, bleibt weiterhin ergebnislos. Schwarze Löcher tauchen gemeinhin in zwei verschiedenen Varianten auf: entweder als Überrest eines sehr schweren Sterns, der sein Leben in einer Supernova-Explosion ausgehaucht hat, oder als Supermassereiches Schwarzes Loch im Zentrum einer Galaxie, die um es kreist. Es gibt aber schon seit den 1970er Jahren die Spekulation, beim Urknall könnten auch sehr viel leichtere Schwarze Löcher entstanden sein, die bis heute beinahe unsichtbar durchs All vagabundieren. Ein solches Objekt – vielleicht von der Masse unserer Erde oder noch sehr viel leichter – würde sich nur dann verraten, wenn es vor einem Stern vorbeizieht und durch einen kleinen Gravitationslinseneffekt eine leichte Helligkeitsschwankung hervorruft.

Forscher aus den Vereinigten Staaten haben nun die Daten des Weltraumteleskops Kepler, das eigentlich nach Planeten Ausschau hält, nach solchen irregulären Ereignissen durchsucht. Von ihren Ergebnissen berichten sie im Fachblatt „Physical Review Letters“. Zunächst mussten sie die natürlichen Helligkeitsschwankungen der Sterne, die durch Sonnenflecken oder Ausbrüche verursacht wurden, identifizieren und aus ihren Datensätzen eliminieren. Übrig blieben 17 interessante Ereignisse, die jedoch in einer verdächtigen Häufung auftraten. Die Wissenschaftler überprüften deshalb die bekannten Bahnen verschiedener Kometen und konnten zwei solche Himmelskörper ausmachen, die für die Helligkeitsschwankung in Frage kamen.

„Nachdem wir die Kometenereignisse von unserer Liste gestrichen hatten, blieben keine Kandidaten für Schwarze Löcher mehr übrig“, berichtet Kim Griest von der University of California in San Diego. Damit können die Forscher die bislang schärfsten Ausschlusskriterien für diese Schwarzen Mini-Löcher angeben. Nach einigen theoretischen Modellen könnte ganz kurz nach dem Urknall eine Vielzahl solcher „primordiale Schwarze Löcher“ genannten Objekte entstanden sein. Bislang wurde jedoch noch kein einziges nachgewiesen. Falls es sie dennoch gibt, könnten sie aber einen gewissen Teil der Dunklen Materie ausmachen, von der heute nur bekannt ist, dass es sie gibt, aber nicht, woraus sie besteht. Mit den neuen Ergebnissen können die Forscher aber zumindest die mögliche Anzahl solcher Objekte schärfer eingrenzen. Damit lässt sich zumindest ausschließen, dass die Schwarzen Mini-Löcher allein für die Dunkle Materie in der Milchstraße verantwortlich sind. Denn sonst müsste es so viele von ihnen geben, dass die Forscher mindestens eines gefunden hätten.

**11 Evolution: Wie der Mensch zum Langstreckläufer wurde**

**Der Verlust eines bestimmten Gens hat die Laufleistung des frühen Menschen so gesteigert, dass er die Technik der Ausdauerjagd zur Fleischbeschaffung entwickeln konnte.**

San Diego (USA) -  Die Vorfahren des Menschen entwickelten eine spezielle Methode, um Tiere zu erlegen. Bei der sogenannten Ausdauerjagd, die noch heute von traditionell lebenden südafrikanischen Bevölkerungsgruppen praktiziert wird, hetzt der Jäger seine Beute in der Hitze des Tages so lange, bis das Tier erschöpft zusammenbricht. Diese Fähigkeit erforderte von den frühen Menschen Veränderungen des Körperbaus, den Verlust des Fells, eine große Zahl an Schweißdrüsen und die Optimierung des Energiestoffwechsels. Zur Evolution dieser ungewöhnlichen Ausdauerleistung trug unter anderem der Verlust eines bestimmten Gens bei, wie amerikanische Forscher im Fachblatt „Proceedings of the Royal Society B“ berichten. Genetisch veränderte Mäuse, bei denen das gleiche Gen inaktiviert worden war, zeigten eine erhöhte Ausdauer beim Laufen und entwickelten kräftigere und stärker durchblutete Beinmuskeln. Weitere Forschungen sollen klären, wie die Eliminierung eines einzigen Gens zu derart weitreichenden Konsequenzen führen konnte.

„Der Genverlust könnte für die frühen Menschen ein selektiver Vorteil gewesen sein, als sie den Wald verließen, um dauerhaft in der offenen Savanne als Jäger und Sammler zu leben“, sagt Ajit Varki von der University of California in San Diego. Der Beginn der neuen Lebensweise und die damit verbundenen körperlichen Anpassungen reichen circa zwei Millionen Jahre im Stammbaum des Homo sapiens zurück. Etwa zum gleichen Zeitpunkt muss es nach Schätzung von Genetikern im Erbgut unserer Vorfahren zum Verlust des Gens CMAH gekommen sein. Damit fehlte dem Körper ein Enzym, das normalerweise die Sialinsäure N-Acetylneuraminsäure in N-Glycolylneuraminsäure umwandelt. Sialinsäuren sind Bestandteile von Oberflächenstrukturen fast sämtlicher Körperzellen. Möglicherweise war diese Mutation zunächst allein deshalb extrem vorteilhaft, weil dadurch ein gefährlicher Krankheitserreger nicht mehr an die Zellen andocken und die Vormenschen infizieren konnte.

Welche weiteren Auswirkungen die Mutation gehabt haben könnte, untersuchten die Forscher durch den Vergleich von Mäusen mit und ohne CMAH-Gen. Nach zweiwöchigem Training im Laufrad rannten die Tiere ohne das Gen 12 Prozent schneller und 20 Prozent länger als die anderen. Zudem war die Masse ihrer Beinmuskulatur größer und die Muskeln wurden durch mehr Blutkapillaren besser mit Sauerstoff versorgt. Insgesamt nutzten die Beinmuskeln der Mäuse ohne CMAH-Gen den Sauerstoff effizienter für die Energieerzeugung und ermüdeten nicht so schnell. Dieselben Veränderungen könnten es den frühen Menschen ermöglicht haben, den Fleischanteil ihrer Nahrung zu erhöhen: Sie konnten größere Lebensräume in der Savanne nutzen, um durch Ausdauerjagd Wild zu erlegen, auch ohne über weit reichende Waffen zu verfügen. Der Genverlust führte zwar nur zu einem geringfügig chemisch veränderten Biomolekül. Da dieses jedoch im ganzen Körper verbreitet ist, hatte das zahlreiche Konsequenzen für den menschlichen Stoffwechsel, die im Einzelnen noch zu erforschen sind.

**Wie sich Holz zum Schwamm verwandelt**

**Chemisch behandeltes Balsaholz bildet einen extrem leichten Werkstoff, der sich reversibel zusammenpressen lässt.**

College Park (USA) - Das Holz des tropischen Balsabaums ist wegen seines geringen Gewichts bei Modellbauern und als Ersatz für teuren Kork sehr beliebt. Nach einer chemischen Behandlung nahm die Dichte des ohnehin schon sehr leichten Materials noch weiter deutlich ab. Wie amerikanische Materialforscher in der Zeitschrift „Chem“ berichten, wandelte sich das kompakte Balsaholz in einen schwammartigen Werkstoff, der sich viele tausend Male reversibel zusammenpressen ließ. Abhängig von der Kompression veränderte sich auch der elektrische Widerstand, so dass sich dieses neue Material auch als Drucksensor eignete. „Diese Holzschwämme bestehen aus einem nachwachsenden Rohstoff und könnten eine interessante Alternative zu Werkstoffen aus Graphen oder Kohlenstoffnanoröhrchen sein“, sagt Liangbing Hu, Nanoingenieur an der University of Maryland in College Park. Gemeinsam mit seinen Kollegen kochte er leichtes und noch festes Balsaholz mehrere Stunden lang in einer Lösung aus Natriumhydroxid und Natriumsulfit. Dabei zerbrachen die starren Zellstrukturen im Holz und ein Großteil des enthaltenen Lignins und der Hemizellulose wurde ausgewaschen. Zurück blieb eine aus weißer Zellulose bestehende, poröse Masse.

Diese Holzmasse kochten die Forscher wiederum mehrere Stunden, diesmal in einer Wasserstoffperoxid-Lösung. Dabei bildete sich aus den Bruchstücken der Zellwände eine regelmäßige Wabenstruktur mit Wabendurchmessern von etwa 25 Mikrometern aus. Diese flexible Struktur ließ sich über einen Verkohlungsprozess bei 1000 Grad Celsius dauerhaft stabilisieren. Das Ergebnis dieser Prozedur war ein schwarzes, schwammartiges Material, dessen Dichte lediglich bei einem Fünftel des ursprünglichen Balsaholzes lag. Ein Holzschwamm etwa von der Größe eines Spielwürfels war leicht genug, um mühelos von den feinen, haarigen Flugschirmchen einer Pusteblume getragen zu werden.

Mit mehreren Versuchsreihen bestimmten Hu und Kollegen weitere physikalische Eigenschaften des extrem leichten Holzschwamm-Materials. So ließ es sich wie ein echter Schwamm mehrere tausende Male mindestens auf die Hälfte seines Volumens zusammenpressen, um ohne Kompressionsdruck wieder seine ursprüngliche Form anzunehmen. Auf ein Fünftel seines ursprünglichen Volumens komprimiert stieg auch die elektrische Leitfähigkeit etwa um das 400-fache an. Zur Demonstration dieses druckabhängigen Verhaltens fertigten die Forscher kleine, empfindliche Drucksensoren.

„Dieser Holzschwamm zeigt das verborgene Potenzial von natürlichen Materialien“, sagt Hu. Der Materialforscher kann sich vorstellen, dass die extrem leichten, porösen Holzschwämme zur Reinigung belasteten Wassers oder auch als Gerüstwerkstoff für Batterie-Elektroden oder Kondensatoren genutzt werden könnte. Im Unterschied zu chemisch synthetisierten Graphen- oder Karbonfaser-Materialien basiert der Holzschwamm-Werkstoff auf dem natürlichen Rohstoff Holz und wäre damit nachhaltiger und günstiger zu produzieren.

Vor wenigen Wochen präsentierte die gleiche Arbeitsgruppe bereits ein auf Holz basierenden Werkstoff, der leicht und zugleich trotzdem fest wie Stahl war. „Dieses komprimierte Holz könnte mit seiner Stärke und Haltbarkeit eine Alternative zu Stahl und sogar Titanlegierungen bieten“, sagt Liangbing Hu. Er wählte mehrere Holzarten – Linde, Eiche, Kiefer und Zeder – für die Verdichtungsversuche. Quaderförmige Holzstücke von der Größe etwa einer Zigarettenschachtel kochten sie zuerst sieben Stunden lang in einer wässrigen Lösung aus Natriumhydroxid und Natriumsulfit. Dabei lösten sich große Anteile des enthaltenen Lignins und der Zellulose aus dem Holzrohling. Danach pressten die Forscher die ausgewaschenen Holzstücke einen Tag lang bei 100 Grad Celsius. Nach diesem Verfahren waren die Holzquader auf ein Fünftel ihrer ursprünglichen Dicke geschrumpft. Die Dichte der Hölzer nahm etwa um das Dreifache zu.

Bemerkenswert zeigte sich in Belastungsversuchen die sehr hohe Stabilität der komprimierten Hölzer. So waren zwölffach stärkere Kräfte als bei unbehandelten Hölzern nötig, um die Holzquader zu zerbrechen. Zudem erwiesen sich die Probestücke bis zu zehnmal härter und unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit.„Bruchfest und hart – diese Kombination gibt es in der Natur sonst nicht“, sagte der an den Experimenten beteiligte Forscher Teng Li. So sei der neue, natürliche Werkstoff stabil wie Stahl, aber zugleich sechsmal leichter.

**Galaxie am Rand des Universums**

**Astronomen entdecken die am weitesten entfernte Galaxie, deren Distanz genau vermessen werden konnte.**

Austin (USA) - Nach dem Urknall dauerte es einige hundert Millionen Jahre, bevor sich die ersten Sterne und Galaxien bildeten. Bislang sind nur sehr wenige Objekte aus dieser frühen Zeit bekannt. Die genaue Distanz zu ihnen lässt sich oft auch nur schwer angeben, da Teleskope von so weit gelegenen Sternhaufen nur extrem wenig Licht aufnehmen können. Ein internationales Team von Astronomen konnte nun mit Hilfe des großen Keck-Teleskops auf Hawaii die Entfernung zu einer Galaxie bestimmen, die gleich in mehrfacher Hinsicht außergewöhnlich war. Wie die Forscher im Fachblatt „Nature“ berichten, ist das Sterngebilde mit der Bezeichnung z8\_GND\_5296 nicht nur die am weitesten entfernte Galaxie, deren Distanz exakt gemessen werden konnte. Auch bilden sich dort enorm viel neue Sterne.

„Nach unseren Berechnungen liegt die Sternentstehungsrate dieser Galaxie bei ungefähr 330 Sonnenmassen pro Jahr“, sagt Erstautor Steven Finkelstein von der University in Austin, Texas. „Dies ist über hundertfach mehr, als wir in unserer Milchstraße sehen.“ Die vielen jungen und leuchtkräftigen Sterne dürften auch dafür verantwortlich sein, dass die Forscher die Distanz zu dieser Galaxie so genau bestimmen konnten. Zwar sind einige andere Galaxien bekannt, die noch weiter entfernt liegen dürften. Bei ihnen ist aber noch keine exakte, spektroskopische Messung geglückt. Die nun gefundene Galaxie entstand 700 Millionen Jahre nach dem Urknall, als das Universum erst ein Zwanzigstel seines heutigen Alters hatte.

Insgesamt untersuchten die Forscher 43 Galaxien, die das Hubble-Weltraumteleskop in den Tiefen des Alls ausgemacht hatte. Die Lichtstärke von Hubble reichte aber nicht aus, um diese Galaxien auch spektroskopisch zu untersuchen. Bei spektroskopischen Messungen versuchen Forscher, im Sternenlicht charakteristische Linien zu finden, die auf bestimmte Elemente hinweisen. Dies erlaubt eine genaue Bestimmung der Entfernung, benötigt aber ausreichend große Teleskopspiegel. Die beiden baugleichen Keck-Teleskope auf Hawaii gehören mit einem Spiegeldurchmesser von zehn Metern zu den größten Teleskopen der Welt. Dank der Weitfeld-Infrarot-Kamera MOSFIRE am Keck-Teleskop konnten die Astronomen die Hauptlinien von Wasserstoff bei z8\_GND\_5296 nachweisen. Bei den anderen 42 Galaxien war dies jedoch nicht möglich. Die Forscher hoffen deshalb auf die kommende Generation großer Teleskope, mit denen sie noch mehr Objekte aus der Frühzeit des Universums untersuchen können.

**12 Alarmpheromone von Bienen schrecken Elefanten ab**

**Synthetisch hergestellte Signalstoffe könnten helfen, Elefanten von Feldern und Siedlungen fernzuhalten.**

Mānoa (USA) -  Um Ernteverluste zu verhindern, müssen afrikanische Bauern Elefanten von ihren Feldern fernhalten. Zu diesem Zweck aufgestellte Bienenstöcke schrecken die Tiere zwar ab, flächendeckend einsetzbar ist diese Schutzmaßnahme aber nicht. Jetzt haben amerikanische und südafrikanische Biologen gezeigt, dass sich eine ähnliche Wirkung auch mit chemisch hergestellten Alarmpheromonen der Bienen erzielen lässt. Offenbar können die Elefanten solche Duftstoffe riechen und haben gelernt, diese Geruchsquelle zu meiden, berichten die Forscher im Fachblatt „Current Biology“. Ob die Tiere auch spezielle Rufe ausstoßen, um ihre Herde vor Bienen zu warnen, ist noch nicht untersucht.

Elefanten würden sich davor fürchten, gestochen zu werden, sagt Mark Wright von der University of Hawaii in Mānoa. Insbesondere Bienenstiche in die Bindehaut der Augen oder die Schleimhaut des Rüssels seien sehr schmerzhaft. Aus früheren Beobachtungen war bekannt, dass Afrikanische Elefanten (Loxodonta africana) sowohl auf den Anblick eines Bienenstocks als auch auf das Brummen von Bienen reagieren, indem sie sich abwenden. Wright und seine südafrikanischen Kollegen gingen nun der Vermutung nach, dass die Elefanten auch Signalstoffe der Ostafrikanischen Hochlandbiene (Apis mellifera scutellata) riechen können. Wenn sich die Insekten gegen eine Bedrohung wehren, setzen sie eine Mixtur aus mehreren leicht flüchtigen Stoffen frei, die als Alarmsignal dienen: Die Pheromone aktivieren die anderen Bienen, die dann im Schwarm durch Stechangriffe ihr Volk verteidigen. Die Forscher ließen zwei Bestandteile des komplexen Pheromongemisches, Isoamylacetat und 2-Heptanon, chemisch herstellen und zu gleichen Teilen in eine speziell dafür entwickelte Substanz einbauen, aus der sie allmählich wieder abgegeben werden. Die beiden Signalstoffe reichten aus, um Bienen in den Alarmzustand zu versetzen. Diese Geruchsquelle füllten die Biologen zusammen mit kleinen Steinen in weiße Socken, die in der Nähe zweier Wasserlöcher im Kruger-Nationalpark an niedrigen Ästen aufgehängt wurden. Als Kontrollen dienten aufgehängte Socken ohne Pheromone. Das Wasserloch Jejane lag in einem Gebiet, in dem es mehrere Bienenstöcke gab. In der weiteren Umgebung des Wasserlochs Maseke waren keine Bienenstöcke aufgestellt. Videoaufnahmen zeichneten das Verhalten der Elefanten auf, wenn diese sich dem ungewöhnlichen Objekt näherten. Die Socken ohne Geruchsstoffe wurden von sämtlichen 23 Elefanten entweder ignoriert oder kurz näher untersucht. Gegenüber den anderen Socken verhielten sich 25 von 29 Tieren am Jejane-Wasserloch anders: Sie zeigten eine verstärkte Aufmerksamkeit, hielten eine Weile inne und entfernten sich dann. Am zweiten Wasserloch verhielten sich 9 von 14 Tieren ebenso, wenn sie in die Nähe einer pheromonhaltigen Socke kamen. Wenn auch vorerst statistisch nicht relevant, könnte das darauf hinweisen, dass Elefanten in Gebieten mit Bienenstöcken eine aufgrund leidvoller Erfahrung stärkere Vermeidungsreaktion zeigen als in anderen Regionen. An windstillen Tagen reagierten die Tiere erst dann, wenn sie weniger als einen Meter von der Socke entfernt waren – was für eine Geruchswahrnehmung spricht. Die Forscher halten es für möglich, dass eine optimierte Auswahl und Mischung von Alarmpheromonen das Verhalten der Elefanten noch verstärken könnte. Da Elefanten bei Gefahr ihre Herde durch Rufe warnen, wollen die Biologen nun prüfen, ob sie dies auch tun, wenn sie auf Bienenstöcke – oder Behälter mit Alarmpheromonen – gestoßen sind. Der Einsatz solcher Attrappen, die Bienenstöcke vortäuschen, könnte sich nach Ansicht der Autoren als eine leicht umsetzbare und kostengünstige Methode erweisen, um Elefanten von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Siedlungen fernzuhalten. Dann müssten vielleicht weniger „Problemelefanten“ erschossen werden, die Felder zertrampeln, Schäden in Wohngebieten anrichten und Menschen gefährden. Ziel dieser Bemühungen sei es letztlich, eine friedliche Koexistenz von Elefanten und Menschen zu ermöglichen.

**Memtransistor – Neuer Baustein für neuronale Computer**

**Kombination aus Memristor und Transistor verarbeitet und speichert Daten in einem Modul.**

Evanston (USA) - Computer schlagen mittlerweile die besten Schach- oder Go-Spieler der Welt. Doch an die enorme Leistungsfähigkeit menschlicher Gehirne mit Milliarden Neuronen und Billionen Verknüpfungen reichen sie bisher nicht heran. Ein neuartiger elektronischer Baustein – Memtransistor genannt – soll diese Lücke nun stopfen. Er vereint die Schalteigenschaften eines Transistors mit einem Speichermodul. Wie die amerikanischen Entwickler in der Fachzeitschrift „Nature“ berichten, kann der Memtransistor nicht nur über drei, sondern über bis zu sieben Elektroden mit weiteren Modulen verknüpft werden. Darin sehen sie die Grundlage, um komplexere Netzwerke wie im Gehirn konstruieren zu können.

„Herkömmliche Computer nutzen voneinander getrennte Module, um Daten zu verarbeiten und zu speichern“, sagt Mark C. Hersam von der Northwesten University in Evanston. Neuronen dagegen können beide Aufgaben zugleich erfüllen. Genau dieses Ziel verfolgt Hersam nun mit dem neuen Memtransistor. Für die Fertigung doponierte er gemeinsam mit seinen Kollegen eine nur eine Moleküllage dünne Schicht aus kristallinem Molybdänsulfid auf einem Träger aus Siliziumdioxid. Mit lithografischen Methoden formten die Wissenschaftler filigrane Leitungskanäle in dieser Schicht und fügten insgesamt sieben Kontaktelektroden für die elektronische Kontrolle dieses neuen Schaltmoduls hinzu.

Testmessungen zeigten, dass der Memtransistor sich einerseits wie ein herkömmlicher Transistor schalten ließ. Andererseits konnte mit Spannungspulsen von bis zu 80 Volt die atomare Ordnung in der Molybdändisulfid-Schicht gezielt verändert werden. Diese kontrolliert fabrizierten Defekte führten zu schaltbaren Veränderungen des elektrischen Leitfähigkeit. Genau diese lokalen Variationen des elektrischen Widerstands eignen sich für die dauerhafte Speicherung digitaler Daten. Erneute Spannungspulse konnten diese Speicher löschen und neu beschreiben. So vereinte der Memtransistor die Schalteigenschaften eines Transistors mit einem Speichermodul.

Im Unterschied zu früheren Ansätzen ähnlicher elektronischer Module verfügte der Memtransistor über sieben Elektroden. Ein Schaltpulse an nur einer Elektrode beeinflusste den Stromfluss an den sechs weiteren elektrischen Kontakten. Dieser Aufbau erlaubt es prinzipiell, einen Memtransistor mit mehreren weiteren zu verknüpfen. „Dank dieser Struktur mit mehreren Kontakten ähnelt der Aufbau den Neuronen in einem Gehirn, die ebenfalls über mehrere Verknüpfungen, den Synapsen, verfügen“, sagt Hersam.

In weiteren Experimenten könnten nun elektronische Netzwerke mit Dutzenden Memtransistoren entwickelt werden. Diese sollen einfache, an neuronale Netzwerke angepasste Aufgaben erfüllen. Komplexere Systeme könnten danach den Weg zu künstlichen Intelligenzen ebnen, die schneller als herkömmliche Computer verschiedene Muster erkennen oder einzelne Daten aus sehr großen Datensätzen herausfiltern. Zudem erlaubten die von Hersam genutzten Verfahren die Fertigung von einigen Dutzend Memtransistor parallel. Doch ist der Forscher davon überzeugt, dass sich diese Prozesse auch für die Produktion von Millionen Memtransistoren optimieren ließen.

**Galaktisches Teleskop in Rekordentfernung**

**Eine sehr weit entfernte Galaxie verstärkt durch den Gravitations-linseneffekt das Licht einer anderen in noch größerer Distanz.**

Milchstraße und einer weit entfernten Galaxie eine weitere, so kann dies zum sogenannten Gravitationslinseneffekt führen. Dabei wird das Licht des hinteren Objektes bedeutend verstärkt oder es kommt zu interessanten Verzerrungen. Ein internationales Astronomenteam hat nun die am weitesten entfernte Gravitationslinsen-Galaxie entdeckt. Wie die Forscher im Fachblatt „Astronomy & Astrophysics“ berichten, war das Licht von der Linse bis zur Erde knapp 9,5 Milliarden Jahre unterwegs. Die dahinter liegende Galaxie, deren Licht gebündelt wurde, ist noch einmal über 2 Milliarden Lichtjahre weiter entfernt. Außerdem liegen die beiden Sterngebilde fast exakt hintereinander, so dass der Effekt besonders stark war. Dies ist eine sehr unwahrscheinliche Konstellation. „Es war eine reine Zufalls-entdeckung“, sagt Erstautor Arjen van der Wel vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg. Eigentlich suchten die Forscher nach alten Galaxien, als sie auf einer Aufnahme ein seltsam aussehendes Sterngebilde ausmachten. Es sah aus wie eine sehr junge Galaxie, befand sich aber sehr viel weiter entfernt als gedacht. Nach präziseren Bildanalysen fanden die Forscher dann einen beinahe perfekten Einstein-Ring. So heißen Bilder von Gravitationslinsen, bei denen sich die beiden Galaxien fast direkt hintereinander befinden. Dadurch ist die hintere Galaxie ringförmig um die vordere zu sehen. Gravitationslinsen sorgen aber nicht nur für besondere Bilder, sondern ermöglichen auch physikalische Messungen. So können Astronomen aus der Ablenkung des Lichts auf die Masse der ablenkenden Galaxie schließen. Insbesondere die Menge an Dunkler Materie lässt sich so bestimmen. Denn diese rätselhafte Materieform tritt mit der uns bekannten Materie nur über die Schwerkraft in Wechselwirkung. Die Masse der vorderen Galaxie bestimmten die Astronomen zu über 70 Milliarden Sonnenmassen, bei einem Anteil Dunkler Materie von nicht über 60 Prozent. Die hintere Galaxie ist mit rund 100 Millionen Sonnen-massen deutlich leichter. Sie ist aber mit einem Alter von wenigen Dutzend Millionen Jahren noch sehr jung, weshalb in ihr enorm viele Sterne entstehen. Da eine solche Konstellation von Galaxien extrem selten sein sollte und dies schon der zweite bekannte Fall eines solchen Gravitationslinseneffekts ist, stehen die Forscher vor einem Rätsel: Entweder haben sie bei ihrem Fund unwahrscheinliches Glück gehabt – oder ihre Modelle zur Galaxienentwicklung bedürfen einer weiteren Verfeinerung.

**13 Evolution: Anpassung an kaltes Klima erhöhte Migränerisiko**

**Durch natürliche Selektion verbreitete sich bei den frühen Menschen in Europa und Asien eine Genvariante, die auch anfälliger für Migräne macht.**

Leipzig - Im Gegensatz zu Afrikanern tragen die meisten Europäer und viele Asiaten in ihrem Erbgut ein verändertes Gen, das ein erhöhtes Migränerisiko anzeigt. Diese Genvariante könnte sich als vorteilhaft erwiesen und durch natürliche Selektion verbreitet haben, weil es zu einer Anpassung an ein Leben in kalten Klimazonen beiträgt. Das ergaben vergleichende Genanalysen von Menschen aus verschiedenen Regionen der Erde, wie ein internationales Forscherteam im Fachblatt „PLoS Genetics“ berichtet. Das Gen dient der Wahrnehmung von Kälte über spezielle Rezeptoren und ist an der Regulation der Körpertemperatur beteiligt. Auf welche Weise das veränderte Gen die Anfälligkeit für Migräne erhöht, ist noch nicht bekannt.

„Die Besiedlung neuer Lebensräume in Europa und Asien war möglicherweise mit genetischen Veränderungen verbunden, die den frühen Menschen geholfen haben, sich an niedrigere Temperaturen anzupassen“, sagt Aida Andres vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig. Beispielsweise habe man im Erbgut von Menschen, die in Polarregionen leben, mehrere Genvarianten gefunden, die den Fettstoffwechsel so verändern, dass eine fettreiche Ernährung ohne Gesundheitsschäden möglich ist. Es sei aber weitgehend unbekannt, wie sich die Einwanderer aus dem tropischen Afrika an die auch in den gemäßigten Zonen bereits deutlich kühleren Temperaturen angepasst haben. So liegt die durchschnittliche Jahrestemperatur in Nigeria bei 28 Grad Celsius, in Finnland dagegen nur bei 6 Grad.

Die Forscher untersuchten, ob sich die Genregion des Kälterezeptors TRPM8 bei Menschen aus verschiedenen Klimazonen unterscheidet. Dazu nutzten sie veröffentlichte DNA-Sequenzen menschlicher Genome. Sie fanden große Unterschiede in einem DNA-Abschnitt, der die Aktivität des TRPM8-Gens reguliert. So waren 88 Prozent der Menschen finnischer Abstammung Träger einer bestimmten Variante dieses Genbereichs, die in der Bevölkerung Nigerias nur bei 5 Prozent vorkam. Der Anteil an Menschen mit dem veränderten Gen war umso größer, je höher der Breitengrad ihres Lebensraums war. Deshalb haben auch US-Amerikaner europäischer Abstammung ein größeres Migränerisiko als Afroamerikaner.

Weitere Analysen ergaben, dass sich die neue Genvariante im Verlauf der vergangenen 25.000 Jahren aus ihrer ursprünglichen, noch heute in Afrika vorherrschenden Form entwickelt haben muss. Das ist nur durch einen starken Selektionsdruck, das heißt einen großen Überlebensvorteil zu erklären. Und dieser Vorteil war größer als der damit verbundene Nachteil einer erhöhten Anfälligkeit für Migräne. Der genaue Zusammenhang zwischen Kälteempfindung und Migräne ist noch nicht aufgeklärt. Es sei aber interessant, so die Autoren, dass das Trinken von kaltem Wasser in einigen Fällen einen Migräneanfall auslösen kann. Außerdem gebe es Hinweise darauf, dass der TRPM8-Rezeptor auch direkt an der Wahrnehmung von Kälteschmerz und anderer Schmerzen beteiligt ist.

**Nanoroboter aus DNA-Molekülen**

**Elektrische Felder ermöglichen schnelle, kontrollierte Bewegungen der Erbgutstränge.**

München - Der Bau eines der weltweit wohl kleinsten Roboter gelang kürzlich in einem Labor der Technischen Universität München. Aufgebaut aus synthetischen DNA-Strängen konnten seine Bewegungen nur unter hochauflösenden Mikroskopen verfolgt werden. Elegant ließ sich ein Arm des Nanoroboters mit elektrischen Feldern innerhalb von Millisekunden steuern. Wie die Forscher in der Fachzeitschrift „Science“ berichten, könnten solche Robotersysteme in Zukunft für den kontrollieren Transport von Molekülen oder Nanopartikeln genutzt werden.

„Bisher verlief der Antrieb von DNA-Nanomaschinen relativ langsam über Zeitskalen von Minuten oder gar Stunden“, sagt Friedrich C. Simmel, Leiter der Arbeitsgruppe „Physik synthetischer Biosysteme“. Verantwortlich für das geringe Tempo waren biochemische Prozesse, über die die DNA-Moleküle gezielt Struktur und Position ändern konnten. Simmel und seine Kollegen nutzten stattdessen die schnelle Schaltbarkeit von elektrischen Feldern mit bis zu 120 Volt Spannung. Damit konnten sie beispielsweise einen etwa 450 Nanometer langen Roboterarm aus elektrisch aufgeladenen DNA-Molekülen binnen weniger Millisekunden auf Wunsch in mehrere Richtungen bewegen.

Zum Bau des Nanoroboters nutzten die Wissenschaftler die Selbstorganisation, zu der die aus den Nukleinbasen Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T) bestehenden Molekülstränge fähig sind. So ließ sich auf einer quadratischen DNA-Unterlage mit 55 Nanometer Kantenlänge ein Roboterarm von zunächst 25 Nanometer Länge aufsetzen. Dieser Arm konnte durch das Andocken weiterer Moleküle auf mehr als 400 Nanometer verlängert werden. Mit mehreren Mikroskopen überprüften Simmel und Kollegen erst den gelungenen Aufbau ihres Nanoroboters und danach auch die über elektrische Felder filigranen Bewegungen.

In weiteren Versuchen zeigten die Forscher, dass ihr nanoskaliger Roboterarm sogar einzelne Moleküle oder Nanopartikel aus Gold berühren und bewegen konnte. „Derzeit arbeiten wir an mehreren Erweiterungen des Systems“, sagt Simmel. So soll ein verlässlicher Mechanismus entwickelt werden, mit dem kontrolliert Moleküle oder Nanoobjekte an einer Stelle aufgenommen und an anderer wieder abgelegt werden können. Diese Technologie „hybrider Bio-Nanoelektromechanische Systeme“ – kurz Bio-NEMS – könnte in Zukunft auch für hochempfindliche Sensoren oder für die gezielte Kontrolle über chemische Reaktionen genutzt werden.

**Glühende Exo-Erde**

**Der neu entdeckte Planet Kepler-78b ist der Erde in vielen Punkten ähnlich – jedoch brennend heiß.**

Honolulu (USA )/Genf (Schweiz) - Einen in mehrfacher Hinsicht interessanten Fund haben Astronomen kürzlich im Sternensystem Kepler-78 gemacht. Dort umkreist ein Exoplanet ganz eng sein Zentralgestirn. Wie zwei Forscherteams nun anhand neuer Messungen feststellen konnten, ist der Planet namens Kepler-78b von seiner Größe und Zusammensetzung her unserer Erde ähnlicher als alle anderen bekannten Exoplaneten. Seine Oberfläche dürfte jedoch lavaartig sein: Durch die große Nähe zu seinem Stern herrschen auf der Tagseite von Kepler-78b glühend heiße Temperaturen zwischen 2000 und 3000 Grad Celsius. Wie beide Gruppen von Planetenjägern im Fachblatt „Nature“ berichten, ist Kepler-78b nur zwanzig Prozent größer als die Erde und besitzt siebzig bis achtzig Prozent mehr Masse. Seine chemische Zusammensetzung dürfte damit nahe an der unseres Heimatplaneten liegen.

„Die mittlere Dichte ist sehr ähnlich zu der unserer Erde und weist auf eine Beschaffenheit aus Eisen und Felsgestein hin“, schreibt Francesco Pepe vom Genfer Observatorium, Erstautor einer der beiden Studien. Auch die Erde besitzt einen Kern aus Eisen, der das Erdmagnetfeld hervorruft, und einen Gesteinsmantel. Kepler-78b liegt jedoch so nah an seinem Stern, dass er für einen Umlauf nur 8,5 Stunden benötigt. „Der Planet hat nur ein Hundertstel des Abstands zu seinem Stern, den die Erde zu unserer Sonne besitzt“, so Andrew Howard vom astronomischen Institut der Universität Hawaii, der die andere Studie leitete.

Ein Blick von diesem Exoplaneten nach oben wäre spektakulär, denn der Stern würde den halben Himmel zwischen Horizont und Zenith ausfüllen. Der Stern ist unwesentlich kleiner und kühler als unsere Sonne. Bei den hohen Temperaturen auf der Oberfläche von Kepler-78b könnte dort kein Leben existieren, wie es nach heutigem Stand des Wissens vorstellbar ist. Seine Oberfläche besteht wahrscheinlich aus Lava. Falls der Planet je eine Atmosphäre besessen haben sollte, dürften die enorme Hitze und der Strahlungsdruck des nahen Sterns diese ins Weltall geblasen haben. Aufgrund seiner Schwerkraft sollten die festen Bestandteile von Kepler-78b bzw. sein geschmolzenes Gestein der Strahlung aber standhalten.

Die Forscher konnten die Eigenschaften von Kepler-78b mit Hilfe zweier unterschiedlicher Verfahren bestimmen. Einerseits maß das kürzlich stillgelegte Weltraumteleskop Kepler die Verdunkelung von Sternen beim Vorbeizug eines Exoplaneten. Der Planet wirft dann einen kleinen Schatten, der in diesem Fall das Sternenlicht um ein fünfzigstel Prozent abschwächte. Daraus konnten die Forscher die Größe des Planeten errechnen. Um die Masse zu ermitteln, benötigten sie noch Daten darüber, wie stark der Planet durch seine Schwerkraft an seinem Zentralgestirn zog. Diesen Effekt konnten die beiden Forscherteams dank der hochempfindlichen Messinstrumente an Teleskopen auf Hawaii und dem spanischen La Palma bestimmen. Aus Masse und Größe konnten die Forscher dann auf die Dichte und Zusammensetzung von Kepler-78b schließen. Mit einer Entfernung von nur 700 Lichtjahren befindet sich dieser Exoplanet zwar nicht in unserer unmittelbaren galaktischen Nachbarschaft, ist aber noch nah genug für weitere detaillierte Untersuchungen. Die Forscher hoffen deshalb, an diesem Lavaplaneten weitere Techniken testen zu können, um in einigen Jahren vielleicht einen erdähnlichen Planeten zu finden, der flüssiges Wasser besitzt und damit möglicherweise Lebensformen beherbergt.

**14 Darmfora von Mensch und Hund: ähnlicher als gedacht**

**Ernährungsstudien mit Mäusen oder Schweinen zur Funktion der Darmbakterien sind wahrscheinlich weniger auf den Menschen übertragbar als entsprechende Untersuchungen mit Hunden.**

Heidelberg - Die Darmbakterien von Mensch und Hund sind sich überraschend ähnlich. Sie weisen mehr genetische Gemeinsamkeiten auf als die von Mensch und Schwein oder Mensch und Maus. Das ergaben vergleichende Untersuchungen, über die ein deutsch-amerikanisches Forscherteam im Fachblatt „Microbiome“ berichtet. Die Übereinstimmung zeigte sich zum einen in den Listen sämtlicher Gene der Darmflora. Zum anderen veränderte sich das Mikrobiom des Darms nach einer Ernährungsumstellung bei Hunden auf ganz ähnliche Weise wie bei Menschen. Um den Zusammenhang zwischen Darmflora, Ernährung und Gesundheit in Tierversuchen zu erforschen, wären daher mit Hunden erzielte Resultate noch am ehesten auf den Menschen übertragbar.

„Unsere Ergebnisse zeigen, dass Hunde für Ernährungsstudien besser geeignet sein könnten als Schweine oder Mäuse“, sagt Luis Pedro Coelho vom European Molecular Biology Laboratory in Heidelberg. Möglicherweise seien Daten aus Studien mit Hunden nützlich, um den Einfluss der Ernährung auf die Darmflora des Menschen zu untersuchen. Aber auch die Tiere könnten von solchen Forschungen profitieren. Denn Schätzungen zufolge sind mehr als die Hälfte der Hunde in westlichen Industrieländern übergewichtig und damit anfälliger für verschiedene Krankheiten. Und die Darmbakterien spielen bei der Nahrungsverwertung und der Kontrolle des Körpergewichts eine wichtige Rolle.

Die Forscher untersuchten 32 Labrador Retriever und 32 Beagle, von denen jeweils eine Hälfte schlank und die andere übergewichtig war. Von zwei Gruppen, die sich gleichermaßen aus schlanken und übergewichtigen Tieren beider Rassen zusammensetzten, erhielt die eine Futter mit hohem Protein- und geringem Kohlenhydratgehalt, die andere Futter mit geringem Protein- und hohem Kohlenhydratgehalt. Vorher sowie vier und acht Wochen später analysierten die Wissenschaftler die gesamte bakterielle DNA, also das Mikrobiom des Darms, aus insgesamt 129 Kotproben. Die Analyse ergab eine Liste von mehr als 1,2 Millionen Genen der Darmflora.

Ein Vergleich mit bekannten Genkatalogen der Darmbakterien von Mensch, Maus und Schwein zeigte die größte Übereinstimmung mit dem Mikrobiom des Menschen – auch in der Reaktion auf eine Ernährungsumstellung. Die Mikrobiome von Mensch und Maus waren sich am wenigsten ähnlich. Beim Wechsel zu einer proteinreichen Kost veränderte sich das Darmmikrobiom schlanker Hunde weniger als das der übergewichtigen. Das entspricht der Annahme, dass eine gesunde Darmflora stabiler ist als eine bei Übergewicht bereits gestörte Darmflora.

Durch das enge Zusammenleben von Mensch und Hund während der Domestizierung hat sich die Ernährung des Hundes der des Menschen teilweise angepasst. Das könnte zu einer Angleichung der Darmflora geführt haben. Doch auch wenn sich Gene und Stoffwechsel der Darmbakterien ähneln, sind die Bakterienstämme im Darm von Mensch und Hund nicht identisch. Ein direkter Austausch von Darmbakterien zwischen Mensch und Haustier wäre also keine Erklärung für die Ähnlichkeit der Mikrobiome.

**Rotieren bis zum Zerreißen**

**Weltschnellster elektrisch angetriebener Motor rotiert 40 Millionen Mal pro Minute.**

Zürich (Schweiz) - Kleine Spiegel in Projektoren oder winzige Turbinen erreichen hohe Drehzahlen von einigen tausend bis zu hunderttausend Rotationen pro Sekunde. Noch sehr viel schneller drehte sich nun eine kleine Stahlkugel, die schweizerische Wissenschaftler in einem Magnetfeld schweben ließen. Mit 40 Millionen Umdrehungen pro Minute erreichten sie einen Weltrekord für die Drehzahl elektrisch betriebener Motoren. Wie sie in der Fachzeitschrift „Science Advances“ berichten, wollen sie mit ihren Versuchen die physikalische Grenzen für rotierende Module in elektrischen Antriebssystemen mit hoher Leistungsdichte ausloten.

„Dieses Experiment eröffnet neue Möglichkeiten bei der Erforschung des Materialverhaltens unter extremer zentrifugaler Belastung“, sagt Marcel Schuck von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. ‑So sei die erreichbare Drehzahl ein wichtiger Treiber für die Miniaturisierung von elektrischen Maschinen, deren Leistungsdichte sich mit der Rotationsgeschwindigkeit steigern ließe. Mögliche Anwendungen liegen beispielsweise in der Entwicklung von noch schneller drehenden Mikroturbinen. Die Versuche lieferten neue Erkenntnisse über die Grenzen der Stabilität von Materialien, die von den wirkenden Zentrifugalkräften sogar zerstört werden können. Um den Rekordwert von 667.000 Umdrehungen pro Sekunde zu erreichen, enwickelten Schuck und seine Kollegen ein möglichst reibungsfreies Rotorsystem. Dazu ließen sie eine kleine Stahlkugel mit einem halben Millimeter Durchmesser in einem magnetischen Feld schweben. Diesen Aufbau setzten sie in eine Vakuumkammer, um ein Abbremsen und eine störende Aufheizung durch Luftreibung zu vermeiden. Auch der Antrieb der Stahlkugel erfolgte kontaktlos über ein weiteres, rotierendes Magnetfeld, das von vier rund um die Stahlkugel angeordneten Elektromagneten aufgebaut wurde. „Mit dem Versuchsaufbau können die derzeit in Anwendungen verwendeten Drehzahlen um das 100-fache gesteigert werden“, sagt Schuck. Für die Messung der enorm schnellen Drehbewegung markierten die Forscher die polierte Stahlkugel mit einem kleinen schwarzen Fleck. Auf die Kugel lenkten sie einen fokussierten Lichtstrahl. Die Intensität des reflektierten Lichts konnte mit einer optischen Faser gemessen werden und fluktuierte abhängig von der Umdrehungszahl. Bei 40 Millionen Umdrehungen pro Minute erreichte die Außenseite der Stahlkugel eine Geschwindigkeit von 1047 Metern pro Sekunde. Dabei wirkte eine enorme Zentrifugalbeschleunigung, die die Erdbeschleunigung um das 440 millionenfache überstieg und schließlich die Stahlkugel in viele Bruchstücke zerbersten ließ.

**Raketensterne**

**Bei großräumiger Kartierung des Sternenhimmels finden Astronomen zwanzig hyperschnelle Sterne, die nicht in die bekannten Kategorien passen.**

Nashville (USA) - Auch unter Sternen gibt es Ausreißer: Während unsere Sonne ihre ruhige, runde Bahn um das Zentrum der Milchstraße zieht – so wie zig Milliarden andere Sternensysteme auch –, gibt es einige wenige Himmelskörper, die mit enormen Geschwindigkeiten durch unsere Galaxie rasen. Bislang waren 18 solcher „Hyperschnellläufer“ bekannt. Jetzt hat ein internationales Team von Astronomen bei einer groß angelegten Durchmusterung des Sternenhimmels gleich zwanzig neue rasende Sterne identifizieren können. Wie die Forscher auf der großen halbjährlichen Tagung der Amerikanischen Astronomischen Gesellschaft berichteten, gehören die neu entdeckten Schnellläufer aber einer völlig anderen Sternenklasse an und kommen aus unterschiedlichen Richtungen. Eine so ungewöhnliche Herkunft war erst von einem einzigen anderen Schnellläufer bekannt. Noch können die Forscher über den Ursprung der rasenden Sterne allerdings nur spekulieren, schreiben sie im „Astrophysical Journal“. „Die neuen Hyperschnellläufer unterscheiden sich stark von den vorher entdeckten“, sagt Lauren Palladino, die noch an der Vanderbild Universität in Nashville studiert und als Erstautorin an der Studie mitgewirkt hat. Die bislang bekannten Hyperschnellläufer gehören alle zu einer bestimmten Klasse von Riesensternen und stammen aus dem Zentrum unserer Galaxie. Diese Himmels-körper leuchten blau und sind schwer, heiß und kurzlebig. Astronomen vermuten, das Supermassive Schwarze Loch im Herzen der Milchstraße habe sie auf Touren gebracht. Denn mit seinen über vier Millionen Sonnenmassen hat es die Kraft, nahe vorbeifliegende Sterne extrem zu beschleunigen. Wenn etwa zwei Sterne eines Doppelsternsystems in die Nähe des Schwarzen Loches geraten, kann es passieren, dass der eine vom Schwarzen Loch angesogen wird, während der andere enormen Schwung erhält und aus dem Zentrum der Milchstraße herausgeschleudert wird. Die zwanzig neuen rasenden Sterne sind jedoch deutlich kleiner als die schnellen blauen Riesensterne. Sie kommen auch nicht aus Richtung des Milchstraßenzentrums, sondern haben ganz unterschiedliche Bahnen. Diese Sterne entsprechen von der Größe her unserer Sonne, können jedoch bis zu mehrere Millionen Kilometer pro Stunde schnell sein. Damit sind sie rasant genug, um die Milchstraße verlassen zu können. Zum Vergleich für diese extremen Geschwindigkeiten: Eine Gewehrkugel fliegt mit etwa 1.000 Kilometer pro Stunde. Das schnellste bemannte Raketenflugzeug, der amerikanische Experimentaljet X-15, kam auf über 7.000 Kilometer pro Stunde, die Mondrakete Saturn-5 auf 40.000, die Internationale Raumstation ist mit 27.000 Kilometern pro Stunde unterwegs. Das derzeit schnellste menschengemachte Objekt ist die Raumsonde Juno (Jupiter Polar Orbiter). Sie befindet sich mit gut 100.000 Kilometern pro Stunde auf dem Weg zum Jupiter, nachdem sie beim Vorbeiflug an der Erde Schwung geholt hat – ähnlich wie die blauen Schnellläufer am Schwarzen Loch. Mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit bewegt sich unsere Erde um die Sonne, während sich unser Sonnensystem noch achtfach schneller um die Milchstraße dreht. Als Ursache für die hohen Geschwindigkeiten der Sterne kommen nach Ansicht der Forscher verschiedene Mechanismen in Betracht. So könnte bei einer Supernova-Explosion in einem engen Doppelsternsystem der überlebende Stern herauskatapultiert werden. Oder kleinere Schwarze Löcher, von denen sich viele in der galaktischen Scheibe befinden, könnten ähnliche Effekte bewirken wie das riesige im Zentrum der Milchstraße. Einige Astronomen haben auch den Verdacht geäußert, diese Sterne kämen vielleicht gar nicht aus der Milchstraße, sondern von außerhalb. Die bisherigen Analysen weisen aber darauf hin, dass die rasenden Sterne sich in ihrer Zusammen-setzung nicht von gewöhnlichen Sternen der galaktischen Scheibe unterscheiden. Noch sind die Daten jedoch nicht endgültig. Die nun erfolgte Kartierung des Sternenhimmels – mit Namen Sloan Digital Sky Survey – läuft schon seit einigen Jahren. „Um die Geschwindigkeit eines Sterns genau zu bestimmen, muss man seine Position aber über Jahrzehnte messen“, so Palladino. Deshalb könnten einige der rasenden Sterne sich auch als Messfehler herausstellen. Doch auch wenn weitere Messungen nötig sind: Die meisten dürften wirklich Raketensterne sein. Und keiner scheint Kurs auf die Erde zu nehmen.

**15 Ameisen behandeln Wunden von Verletzten**

**Bei Überfällen auf Termiten erlittene schwere Verletzungen führen nicht zum Tod, wenn Artgenossen die Wunde sofort reinigen.**

Würzburg - Im Kampf mit Termiten verlieren afrikanische Ameisen der Art Megaponera analis oft ein Bein, manchmal auch mehrere. Während besonders schwer verletzte Tiere auf dem Schlachtfeld zurückbleiben, werden die anderen ins Nest getragen. Dort versorgen Mitbewohner die Wunden, indem sie die verletzten Körperstellen ausgiebig säubern, berichten jetzt deutsche Biologen im Fachblatt „Proceedings of the Royal Society B“. Ohne diese Behandlung überleben die meisten Ameisen den Verlust von Beinen nicht und sterben wahrscheinlich an Wundinfektionen. Das ungewöhnliche Verhalten ist für das Überleben der Kolonie vorteilhaft, da bei dieser Ameisenart Koloniegröße und Geburtenrate gering sind und die geretteten Tiere schnell wieder an Kampfeinsätzen teilnehmen können – auch wenn sie nur noch vier oder fünf Beine haben.

„Wir haben die Gesundheitsrisiken untersucht, denen eine Ameise durch offene Wunden ausgesetzt ist. Und wir wollten wissen, ob die Ameisen Mechanismen entwickelt haben, um diese Risiken zu verringern“, schreiben Erik Frank und seine Kollegen von der Universität Würzburg. Sie beobachteten das Verhalten von Megaponera analis-Ameisen in einem Nationalpark der Elfenbeinküste. Eine Kolonie dieser Insekten besteht aus 900 bis 2300 Tieren. Mehrmals am Tag setzen sich Kolonnen von 200 bis 600 Ameisen in Bewegung, um Jagd auf Termiten zu machen. Beim Kampf beißen die Termiten den Angreifern mitunter mehrere Beine ab. Vor der Rückkehr ins Nest wird nach Verletzten gesucht, die Pheromone als chemische Hilferufe freisetzen. Wer mehr als zwei Beine verloren hat, bleibt zurück, die anderen werden abtransportiert.

Frühere Untersuchungen hatten gezeigt, dass Leichtverletzte mit vier oder fünf intakten Beinen schon einen Tag später wieder mobil und einsatzbereit sind. Jetzt konnten die Biologen beobachten, dass die Wunden im Nest sofort intensiv gesäubert werden – manchmal mehrere Minuten lang ohne Unterbrechung. Wie Experimente im Labor zeigten, erhöhte diese Behandlung die Überlebensrate von 20 auf 90 Prozent. Wahrscheinlich versorgen die pflegenden Artgenossen die Wunden auch mit einem Sekret, das antimikrobielle Substanzen enthält, und verhindern damit lebensbedrohliche Infektionen. Für diese Annahme spricht, dass eine Ameise mit frischer Wunde auch unbehandelt mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 Prozent überlebt, wenn sie sich auf sterilisiertem Boden aufhält.

Die Entscheidung darüber, ob ein verletztes Koloniemitglied ins Nest gebracht und gepflegt wird oder nicht, hängt von der Schwere der Verletzung ab, die sich im Verhalten der Hilfsbedürftigen äußert: Leichtverletzte nehmen, wenn sich ein Artgenosse nähert, die Körperhaltung des Puppenstadiums ein, bewegen sich kaum und erleichtern dadurch den Krankentransport. Schwerverletzte mit geringen Überlebenschancen dagegen sind ständig in Bewegung, da sie versuchen, auf die noch verbliebenen Beine zu kommen, und werden nicht mitgenommen. Die beschriebene Form der Wundversorgung ist vermutlich eine prophylaktische Behandlung, da sie bereits wenige Minuten nach der Verletzung beginnt, also noch bevor Anzeichen einer Infektion sichtbar sind, erklären die Forscher. Wie die pflegenden Ameisen die Wunde überhaupt erkennen und woher sie wissen, wann sie die Behandlung beenden können, sollen weitere Untersuchungen zeigen.

**Wenn Fußgänger Brücken in Schwingung versetzen**

**Detaillierte Simulationen verfeinern einfaches Resonanz-Modell und soll Architekten den Bau stabilerer Brücken erleichtern.**

Atlanta (USA) - Kurz nach der Fertigstellung im Jahr 2000 versetzten Fußgänger die Millennium Bridge in London in heftige Schwingungen. Erst der Einbau von zusätzlichen Dämpfern behob das Problem. Verantwortlich für das Resonanz-Phänomen waren im Gleichtakt schreitende Passanten. Ursache für dieses synchrone Verhalten der Fußgänger waren anfänglich noch sehr schwache Schwingungen der Brücke. Wie aber genau diese Anfangsschwingungen ausgelöst wurden, konnte bislang nicht schlüssig erklärt werden. Um diese Wissenslücke zu schließen, modellierten nun amerikanische Physiker die von Fußgängern auf die Brücke ausgeübten Kräfte detaillierter als in allen vorherigen Studien. In der Fachzeitschrift „Science Advances“ berichten sie, dass eine Mindestzahl von Passanten nötig war, um die allererste Schwingung zu erregen. Ihr Modell könnte nun Architekten dazu dienen. Brücken und auch Fußballstadien stabiler zu konstruieren.

„Wenn Fußgänger auf einer Brücke gehen, interagieren sie mit dem Bauwerk und können es in Schwingung versetzen“, sagt Igor Belykh von der Georgia State University in Atlanta. Um diesen Effekt besser zu verstehen, entwickelte er mit seinen Kollegen ein spezielles, dynamisches Rechenmodell. In diesem berücksichtigen sie die Kräfte, die mit jedem Schritt eines Passanten über seine Füße auf die Brückenkonstruktion ausgeübt werden. In dem mathematischen Ansatz ließ sich das Schreiten jedes Fußgängers näherungsweise als Oszillator beschreiben.

Das Modell konzentrierte sich auf die Erzeugung der ersten schwachen Schwingungen. Für den Fall der Millennium Bridge sieht Belykh die bisherige Erklärung, dass zufällig eine Passantengruppe synchronisiert im Gleichtakt lief, als zu einfach an. Sein Modell dagegen verknüpfte die ausgeübten Kräfte der als Oszillatoren beschriebenen Passanten mit der Brückenkonstruktion und deren baulich gegebenen Resonanzfrequenz. Das Ergebnis: Erst ab 165 Personen reichten die über die Füße wirkenden Kräfte aus, um die Londoner Brücke überhaupt in eine kleine Anfangsschwingung zu versetzen.

Dieses detaillierte Fußgängermodell könnte laut Belykh nun für virtuelle „Crash-Tests“ von Brücken und anderen Bauwerken noch in der Planungsphase eingesetzt werden. Mit zusätzlichen dämpfenden Elementen könnte eine Resonanzfrequenz, die allein durch Fußgänger angeregt werden könnte, von vornherein in anderen ungefährliche Frequenzbereich verschoben werden. Mit ihrem neuen Modell wollen die Forscher nun weitere Brücken etwa am Flughafen in Singapur oder die Clifton Suspension Bridge in Bristol analysieren, die bereits verdächtige Schwingungen gezeigt haben. Auch für die Bauplanung von Fußballstadien, in denen sich Fangruppen gerne im Gleichtakt bewegen, sehen die Wissenschaftler ein wichtiges Anwendungsfeld.

**Schwarzes Riesenloch mit kleinem Appetit**

**Das Supermassive Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie saugt nur einen sehr kleinen Teil des Gases seiner Umgebung in sich hinein.** Cambridge (UK) - Im Herzen unserer Milchstraße schlummert, wie in den meisten anderen Galaxien auch, ein riesiges Schwarzes Loch. Astronomen rätseln, warum dieses und die meisten anderen sogenannten Supermassereichen Schwarzen Löcher sich so ruhig und unspektakulär verhalten, obwohl sie theoretisch um viele Größenordnungen heller strahlen könnten. Beobachtungen mit dem Chandra-Röntgenteleskop deuten nun darauf hin, dass schlichtweg die größte Menge an Gas, die um dieses Loch kreist, nicht in das Schwarze Loch hineinströmt, sondern nach außen verloren geht. Wie ein internationales Team von Astronomen im Fachblatt „Science“ berichtet, befinden sich in der Nähe des Sgr A\* (sprich: Sagittarius A Stern) genannten Schwarzen Loches im Zentrum der Milchstraße zwar Tausende Sterne, die einen konstanten Gaswind aussenden. Das Schwarze Loch ist allerdings außerordentlich ineffektiv dabei, diese Gase einzusaugen.

„Nur knapp ein Prozent der Materie, die anfangs in den Einflussbereich des Schwarzen Loches gerät, erreicht schließlich die innerste Region um Sagittarius A Stern“, berichtet Daniel Wang von der University of Massachusetts. Das Schwarze Loch selbst ist rund vier Millionen mal schwerer als unsere Sonne und besitzt eine Ausdehnung von weniger als vierzig Millionen Kilometern. Es liegt allerdings hinter einer dicken Staubschicht verborgen, durch die gewöhnliches Licht nicht dringen kann. Die Astronomen nutzten deshalb Infrarotaufnahmen mit dem Hubble-Weltraumteleskop sowie Röntgenaufnahmen des Chandra-Weltraumteleskops, die sie zwischen Februar und Oktober 2012 gemacht hatten.

Die Forscher analysierten die Spektren dieser Aufnahmen, die zu den bislang detailreichsten der Zentralregion unserer Milchstraße gehören. Sie konnten ein Temperatur- und Dichteprofil der heißen Gaswolken rund um das Schwarze Loch erstellen und daraus den Zu- und Abfluss von Gas ermitteln. Mehr als hundert Sterne im Einflussbereich von Sgr A\* sind bekannt, tausende weitere werden vermutet. Als die Forscher deren Sternenwind mit der Gravitationskraft des Schwarzen Loches in Verbindung setzten, stellten sie fest, dass mehr als 99 Prozent des ausgesandten Gases wieder nach außen strömt. Vermutlich liegt das daran, dass besonders die großen, heißen Sterne in der Umgebung das Gas stark aufheizen. Schwarze Löcher können kaltes Gas recht einfach verspeisen. „Aber je heißer die Gase sind, desto schwieriger wird es für das Schwarze Loch, diese in sich hineinzuziehen“, so Wang. Diese Erkenntnis ist nicht nur für das Verständnis unserer Milchstraße, sondern auch für viele andere Galaxien relevant.

Das bislang noch schlummernde Schwarze Loch könnte in den kommenden Monaten allerdings aufwachen: Eine große Gaswolke befindet sich auf Kurs in seine Richtung. Gelangt sie in seine unmittelbare Nähe, dürfte das Schwarze Loch sie ansaugen. Die dabei freiwerdenden Energiemengen könnten es über eine Million mal heller aufleuchten lassen und Astronomen einzigartige Möglichkeiten zum Studium dieses Objektes liefern.