

## Quantencoup im Weltraum

Der erste Satellit für die sichere Datenübertragung kreist in der Erdumlaufbahn

Der Aufbau eines weltumspannenden Quantennetzwerks kommt voran. In der vergangenen Woche ist der erste Satellit in die Erdumlaufbahn geschickt worden, mit dem man erproben will, ob die weltaumgestützte, abhörsichere Datenübertragung möglich ist. Der Satellit namens „Micius“ startete am Bord einer chinesischen Trägerrakete vom Typ „Langer Marsch“ vom Satellitenstartzentrum Jiuquan in der nordwestchinesischen Provinz Gansu. Der Flugkörper wird zwei Jahre lang in einer Höhe von fünfhundert Kilometern um die Erde kreisen. Während seiner Mission sollen mit dem Satelliten Verfahren der Quantenkommunikation und Quantenkryptographie getestet werden. Dabei werden verschlüsselte Nachrichten in Form von schwachen Laserpulsen vom Satelliten in Richtung mehrerer Bodenstationen – in Wien, Graz und Peking – und zurück übertragen.

Mit den Experimenten will man zeigen, dass die Übermittlung von codierten Daten – etwa indem man einen Quantenschlüssel generiert – mit Hilfe eines Satelliten auch über große Distanzen möglich ist, wie man es für ein künftiges weltweites Quanteninternet benötigt. Die Daten sollen beispielsweise aus einer zufälligen Folge von unterschiedlich polarisierten Photonen – den binären Einsen und Nullen – bestehen. Man will aber auch Paare von verschrankten Lichtquanten zur abhörsicheren Daten-Übertragung nutzen. An Bord von „Micius“ ist ein spezieller Sender, der verschrankte Lichtquanten erzeugt. Für die Messungen wird ein Photon zur Erde geschickt, während der Partner an Bord bleibt und dort einer Messung unterzogen wird.

Durch die Verschränkung – Einstein bezeichnete sie einst als spukhafte Fernwirkung – bilden je zwei Photonen ein einheitliches Quantensystem. Misst man die Schwingungsrichtung eines Teilchens, liegt augenblicklich auch die Polarisation des Partners fest – unabhängig davon, wie weit sich beide Photonen voneinander befinden. Der große Vorteil hierbei ist, dass ein Lauscher, der eines der verschrankten Teilchen anzapft, sich durch seine Tat sofort verrät. Sender und Empfänger bemerken die Abhörrückattacke dadurch, dass sich die Polarisation der Lichteilchen merklich ändert. Von den verschrankten Lichteilchen verspricht man sich den Durchbruch in der Quantenkryptographie.

An dem Experiment mit der Bezeichnung „Quantum Experiments at Space Scale“ (Quess) sind maßgeblich Wissenschaftler von der Universität Wien um Anton Zeilinger und Forscher um Jian-Wei Pan von der Chinesischen Akademie der Wissenschaften beteiligt. Beide Gruppen haben große Erfahrung bei der Übertragung von verschrankten Lichtquanten über große Distanzen. Den Forschern um Zeilinger war es in der Vergangenheit mehrmals gelungen, verschrankte Photonenpaare sogar bei Tag über eine Strecke von 144 Kilometern von der kanarischen Insel La Palma nach Teneriffa zu schicken. Pan, ehemaliger Doktorand von Zeilinger, und seine Kollegen haben spektakuläre Freilandversuche über ähnliche Distanzen am Ufer des Qinghai-Sees in Tibet unternommen.

Bei Quess wird man allerdings Entferungen von tausend Metern überwinden müssen. Zudem hat man es bei dem Satelliten mit einer sich bewegenden Sende- und Empfangsstation zu tun. Dass auch dies keine unüberwindliche Hürde ist, haben vor drei Jahren Forscher um Harald Weinfurter von der Technischen Universität München demonstriert, als sie einen Quantenschlüssel von einem Flugzeug aus zu einer festen Bodenstation schickten und zehn Minuten lang 80 000 Bits an Daten übertragen konnten.

Sollten die Experimente erfolgreich verlaufen, steht dem Aufbau eines größeren Quantennetzes nichts mehr im Weg. Dieses Netzwerk würde vor allem dazu dienen,brisante Daten absolut abhörsicher über weite Distanzen zu verschicken, damit sie kein Unbefugter abzapfen kann. Es gibt bereits zahlreiche kommerzielle Geräte, mit denen sich quantenverschlüsselte Daten mit Glasfasern auf kurze Distanzen übertragen lassen. Mit diesen Systemen werden bereits routinemäßig Standleitungen zwischen einigen Datenzentren verschlüsselt, die keine große Bandbreite benötigen. Einige Kraftwerksbetreiber, Wasserversorger und Gesundheitsbehörden schützen auf diese Weise ihren internen Datentransfer vor einem unbefugten Zugriff von außen.

Ursprünglich wollte Anton Zeilinger die europäische Weltraumagentur Esa für sein Vorhaben gewinnen. Als man dort wenig Bereitschaft zeigte, fragte man in Fernost nach und fand in der Chinesischen Akademie der Wissenschaften einen aufgeschlossenen Partner. In China wird derzeit an einem Quanteninternet zwischen Peking und Shanghai gebaut.

MANFRED LINDINGER



An einen griechischen Tempel erinnern diese Gesteinsformationen am Ufer des Lake Crowley in der Sierra Nevada.

Foto Horst Rademacher

## Die bizarre Säulengärten des Lake Crowley

Wegen der seit Jahren anhaltenden Dürre sind die Wasserstände in vielen Seen Kaliforniens auf sehr niedrigem Niveau. Daran hat auch der reichliche Niederschlag des vergangenen Winters nicht viel geändert. Das gilt insbesondere für die vielen Talsperren, hinter denen Trinkwasser sowie Wasser für die Landwirtschaft gespeichert wird. Auch der Lake Crowley, ein Stausee am Ostrand der Sierra Nevada, aus dem Los Angeles mit Trinkwasser versorgt wird, ist auf dem niedrigsten Stand seit Jahrzehnten. Der fallende Wasserspiegel hat nun ein auf der Welt wahrscheinlich einmaliges Naturphänomen zu Tage treten lassen. Entlang des Südostufers des in knapp 2100 Meter oberhalb des Meeresspiegels liegenden Sees sind

nun Tausende, mehr als fünf Meter hohe Säulen sichtbar geworden, welche die Uferböschungen wie einen griechischen Tempel erscheinen lassen. Obwohl in diesem Sommer schon mehrere Gruppen von Geologen die eigenartigen, nur vom Wasser aus erreichbaren Säulengärten untersucht haben, gibt es über deren Ursprung gegenwärtig nur Spekulationen.

Eine recht elegante Hypothese haben nun Noah Randolph-Flagg und Michael Manga von der University of California in Berkeley vorgelegt. Danach sind diese Säulen vor knapp einer Dreiviertel Million Jahren entstanden, als sich bei einem gewaltigen Vulkanausbruch die Caldera von Long Valley bildete. Die Eruption war so heftig, dass sich die

Vulkanasche, der sogenannte Bishop-Tuff, über mehrere hunderttausend Quadratkilometer bis in den heutigen Bundesstaat Nebraska ausbreiten konnte. In der Nähe des Ausbruchszentrums war die Asche noch heiß, als sie auf der Erdoberfläche niederging. Die Hitze buk sie zu einem Sinter tuff zusammen, dem sogenannten Ignimbrit. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Vulkanasche blieb dieser Tuff jahrtausendlang so warm, dass sich in ihm eindringendes Regen- und Grundwasser bis über den Siedepunkt erhitzt haben konnte.

Das heiße Wasser konnte dann durch mikroskopisch kleine Öffnungen des Sinter tuffs zirkulieren. Dabei habe es, so die beiden Forscher, in dem Tuff che-

mische Reaktionen ausgelöst. Bei diesen hydrothermalen Veränderungen der Vulkanasche entstanden unter anderem Zonen im Tuff, in denen sich das Mineral Mordenit anreicherte. Das wiederum führte zu einer Verhärtung des Tuffs. Im Laufe der Jahrtausende bildete sich in der Caldera von Long Valley ein See, der Mitte vergangenen Jahrhunderts endgültig zum Lake Crowley gestaut wurde. Im Laufe der Zeit löste das Seewasser nun die nicht verfestigten Tuffe und spülte sie hinweg, während die vom Mordenit verfestigten Zonen dem Wasser standhielten. Dabei entstanden im Laufe der Zeit unter Wasser die Säulengärten, die nun freilegen, nachdem die Dürre den Seespiegel hat sinken lassen. (hra)

## Eisenmangel schadet dem Herzen

Patienten mit einem schwachen Herzen haben ein deutlich erhöhtes Sterberisiko. Liegt das daran, dass das Organ zu wenig Eisen enthält?

Von  
Nicola von Lutterotti

Patienten mit Herzschwäche weisen auffallend oft einen Eisenmangel auf. Defizite dieses lebenswichtigen Spurenelements schaden den Betroffenen in erheblichem Maße. Denn sie erhöhen das Risiko für ein schweres, oft tödlich verlaufendes Herzversagen. Diese Gefahr scheint selbst dann zu bestehen, wenn die Eisenknappheit noch nicht zu einer Blutarmut geführt hat. Wird der Eisenmangel behoben, fühlen sich die Patienten jedenfalls wieder besser, und ihre Belastbarkeit nimmt zu. Ob zugleich auch ihre hohe Sterblichkeit zurückgeht, lässt sich indes noch ebenso

wenig beantworten wie die Frage, weshalb leere Eisenspeicher den Betroffenen so nachhaltig zusetzen.

Für mehr Klarheit sorgen nun die Forschungsergebnisse von Wissenschaftlern der Medizinischen Hochschule Hannover, unter ihnen Tibor Kempf und Kai Wöllert aus der Klinik für Kardiologie. Die Wurzel des Übels dürfte demnach eine Fehlsteuerung der Eisenregulationsproteine IRP1 und IRP2 – die Abkürzung stammt vom englischen Iron-Regulatory Protein – sein: Im Zusammenspiel mit weiteren Proteinen sorgen die beiden Eisenproteine dafür, dass genügend Eisen in die Herzmuskelzellen gelangt und hier für die Energieproduktion zur Verfügung steht. Können sie ihren Aufgaben nicht nachkommen, etwa weil sie von Hemmstoffen daran gehindert werden oder in zu geringen Mengen vorliegen, fällt der Eisenmangel im Herzen unter körperlicher Belastung als starke Leistungsbremse ab.

Erste Hinweise darauf, dass die beiden Eisenregulationsproteine im kraftlosen Herzen nicht richtig funktionieren, haben die Hannoveraner Forscher bei Patienten beobachtet, die sich einer Herztransplantation unterzogen. Wie die Autoren im „European Heart Journal“ (doi: 10.1093/euroheartj/ehw333) schreiben, enthielt der Herzmuskel der herzschwachen Patienten nicht nur deutlich weniger Eisen als jener der gesunden Spen-

der. Vielmehr war auch die Aktivität der Eisenregulationsproteine darin vergleichsweise merklich geringer.

Im Tiermodell versuchten die Forscher daraufhin zu klären, ob und auf welche Weise eine unzureichende Aktivität der beiden Eisenproteine die Herzfunktion beeinflusst. Anhand eines gängigen gentechnischen Tricks züchteten sie hierzu Mäuse, deren Herzmuskelzellen – und nur diese – aufgrund eines Gendefekts kein IRP herstellen konnten. Wie sie herausfanden, wuchsen die genetisch veränderten Mäuse ohne gesundheitliche Einschränkungen heran. Das Herz der Tiere verfügte allerdings über vergleichsweise geringe Eisenmengen, nicht hingegen die anderen Organe und auch nicht das Blut. Im Ruhezustand ohne ersichtliche Konsequenzen, entpuppte sich der Eisenmangel im Herzen unter körperlicher Belastung als starke Leistungsbremse.

Denn er hinderte das Herz daran, seine Pumpleistung zu steigern und den erhöhten Anforderungen somit gerecht zu werden. Besonders ernste Folgen hatte die Eisenarmut im Herzen zudem nach einem Infarkt. In dem Fall verstärkten sich die krankhaften Umbauprozesse im Herzen, etwa die übermäßige Verdickung der Herzmuskelzellen und die Ausweitung der Herzkammern. Dies hatte zur Folge, dass die Herzkräftigkeit gleichsam

im Zeiträffer abnahm und häufig tödlich endete.

Die schädlichen Effekte des IRP-Mangels waren indes nicht irreversibel, sondern ließen sich mit einer Eisenkur beheben. Laut den Erkenntnissen der Forscher aus Hannover reichte schon eine einmalige Eiseninfusion aus, um das Nagerherz bei körperlicher Belastung wieder auf Trab zu bringen und es nach einem Infarkt vor einem beschleunigten Kräfteverlust zu schützen.

Wie Kai Wöllert auf Anfrage sagt, stützen die Ergebnisse der Studie die Vermutung, dass selbst unzureichende Eisendefizite für Patienten mit Herzschwäche verhängnisvoll sind und daher behandelt werden sollten. „In den Leitlinien wird dies auch empfohlen. Die Datenlage ist allerdings noch nicht sehr gut. Daher gehen derzeit mehrere aktuelle Studien der Frage nach, ob eine Eisentherapie die Betroffenen vor schweren Komplikationen bewahren kann“, sagt der Kardiologe.

Noch ungewiss sei zudem, ergänzt sein Kollege Tibor Kempf, weshalb die Eisenregulationsproteine im Herzmuskel von Patienten mit Herzschwäche nicht richtig arbeiten. Eine wichtige Ursache für die Fehlfunktion könnten demnach entzündliche Prozesse und Sauerstoffradikale sein. Denn beide spielen bei der Herzinsuffizienz bekanntermaßen eine wichtige Rolle.

## Das Gehirn ausgetrickst

Wie Geruchsmoleküle den Geschmackssinn täuschen

In der Zukunft könnte es möglich sein, den süßen Geschmack eines Kuchens zu genießen, ohne von Gewissensbisse geplagt zu werden. Denn natürliche Geruchsstoffe können dazu verwendet werden, das Gehirn glauben zu lassen, dass Desserts und andere Leckerbissen mehr Salz, Zucker oder Fett enthalten, als sie das in Wirklichkeit tun. Darüber haben Wissenschaftler auf der 252. Nationalen Tagung der „American Chemical Society“ in Philadelphia kürzlich berichtet. Die meisten Menschen wissen, dass sie Nahrungsmittel mit wenig Fett, Zucker und Salz essen sollten, und doch landen Chips, Kekse und Co. öfter im Einkaufswagen, als gesund ist. Ein Verzicht scheint unmöglich. „Aroma kann den verringerten Zucker-, Fett- und Salzanteil in gesunden Lebensmitteln ausgleichen und sie somit attraktiver für den Verbraucher machen“, sagt Thierry Thomas-Danguin, Leiter der Forschungsgruppe des Centre des Sciences du Goût de l’Alimentation in Dijon.

Gerüche nehmen in der Geschmacksverarbeitung eine entscheidende Rolle ein. Wenn man versucht, mit geschlossener Nase Essen zu schmecken, wird man kläglich scheitern. Basierend auf dieser Tatsache haben Lebensmittelwissenschaftler lange Zeit chemische Aromastoffe, ätherische Öle und Pflanzenextrakte verwendet, um den Geschmack von Speisen und Getränken zu steigern. Dazu zählen Fruchtfjoghurts, Tiefkühlpizzen oder Softdrinks, die ihren Geschmack größtenteils der Chemie verdanken. Nun haben Wissenschaftler ihre Aufmerksamkeit auf Geruchsstoffe in Nahrungsmitteln mit reduziertem Zucker, Salz und Fettanteil gerichtet. Der Geschmackssinn wird aufgrund der Fadheit dieser Lebensmittel (meist Diätprodukte) nicht angesprochen. Vielmehr greift man zum Salztreuer, um das Essen mit dreißig Prozent weniger Salzanteil geschmackvoller zu machen. Das eigentliche Ziel wird also verfehlt. „Unsere Absicht ist es, den Neuformulierungsprozess zu optimieren. So kann die Nahrungsmittelindustrie gesündere Produkte erzeugen, die die Verbraucher mögen und regelmäßig essen werden“, sagt Thomas-Danguin. Bereits früher haben er und seine Kollegen gezeigt, dass gut ausgewählte Geruchsstoffe die Geschmackswahrnehmung künstlich steigern. Grund hierfür ist der sogenannte „geruchsinduzierte Geschmacksverstärkungseffekt“. So wurde dieser dafür eingesetzt, den Geschmack von salzarmen Nahrungsmitteln zu steigern („Food Quality and Preference“, Bd. 28, S. 134).

In einer anderen Versuchsreihe mit verschiedenen Käsesorten hat man festgestellt, dass eine Mischung verschiedener Geruchsstoffe den salzigen Geschmack in fast allen getesteten Produkten vergrößert hat. Auch die Fettwahrnehmung hat sich in einigen erhöht („Food Quality and Preference“, Bd. 48, S. 59). Nun haben die französischen Wissenschaftler um Thomas-Danguin versucht, Geruchsmoleküle zu isolieren, die mit dem süßen Geschmack in Verbindung gebracht werden. Ihr Gas-Chromatograph-Olfaktometer wurde mit einem „Olfactoscanner“ kombiniert. Dieser ist dafür zuständig, dass mit Hilfe eines Röhrchens ein dauerhafter Strom aus Aromen in die Nase der Testreicher befördert wird.

Die Versuchspersonen sollten echten Fruchtsaft durch den Olfactoscanner riechen. Gleichzeitig hat der Olfaktometer die Geruchsmoleküle aus dem Saft isoliert. In dem darauf folgenden Schritt wurde ein Molekül nach dem anderen in den Olfactoscanner hinzugefügt, und die Testreicher mussten angeben, ob diese zu ihrer wahrgenommenen Süßigkeit des Fruchtsaftes beigetragen haben. Das Ergebnis: Die isolierten Geruchsstoffe haben die süße Wahrnehmung gesteigert. Künftig könnten Lebensmittelhersteller diese neue Entwicklung einsetzen, um gesündere Nahrungsmittel herzustellen, ohne den Geschmack oder das Aroma opfern zu müssen.

MIRAY CALISKAN

## Die Klimasonden des Eismeeeres

Kieselalgen – auch Diatomeen genannt – zählen zu den Schönheiten des Planktons. Unter dem Elektronenmikroskop wird die ganze Formenvielfalt der einzelligen Pflanzen, die sich mit Skeletten aus Kiesel säure umhüllen, erst richtig sichtbar. Jede Kieselalgenart hat ihr eigenes charakteristisches Aussehen. Die Panzer der Algen mit ihren regelmäßigen Mustern, Poren, Vertiefungen und Kanälen sind nur wenige Mikrometer groß. Rund ein Jahr hat es gedauert, bis die hier abgebildeten Diatomeen-Skelette so weit gereinigt und aufbereitet waren, dass diese Aufnahme möglich wurde. Die Wissenschaftler um Ulrike Hoff vom norwegischen Forschungszentrum Cage haben die Kieselalgen aus den Sedimenten eines Tiefsee-Bohrkerns extrahiert, den sie aus einer Wassertiefe von 1200 Metern unweit der Färöer-Inseln gewonnen haben. Anhand der Ablagerungen im Bohrloch lassen sich 90 000 Jahre an Erdgeschichte ablesen. Eine besondere Rolle kommt dabei den Kieselalgen zu. Anhand der Häufigkeit der Organismen in den Sedimenten können die Forscher um Hoff erkennen, ob und wann der Nordatlantik in der Vergangenheit mit Eis bedeckt war und wie dick die jeweilige Eisschicht gewesen ist. Denn bestimmte Diatomeen nutzen das Eis als Lebensraum. Allerdings dürfen die Schichten gefrorenen Wassers nicht zu dick sein, damit noch genügend Sonnenlicht die Algen erreicht. Ist der Lichteinfall zu gering, werden weniger Organismen produziert. Sterben die Kieselalgen ab, fallen sie auf den Meeresboden, wo das Salzwasser das Silikatgerüst zerstellt. Sie sondern aber ein charakteristisches schwerlösliches Lipid ab, das sich in den Sedimenten anreichert. Anhand der Häufigkeit des Moleküls haben Hoff und ihre Kollegen Schlüsse auf die Eisdicke und so auf die klimatischen Verhältnisse im Nordatlantik ziehen können, wie sie in der Zeitschrift „Nature Communications“ (doi: 10.1038/ncomms12247) berichten. (mli)



Kieselalgen unter dem Elektronenmikroskop (Falschfarbendarstellung)

Foto Ulrike Hoff

## Ein Laser arbeitet mit Proteinen

Einen Laser, der grün fluoreszierende Proteine zur Erzeugung kohärente Strahlung nutzt, haben Wissenschaftler von der University of St. Andrews in Schottland und von der Universität Würzburg hergestellt. Das ist ein Novum, denn herkömmliche Laser nutzen als aktives Material Halbleiter oder Gasgemische. Wie Malter Gather und seine Kollegen in der Zeitschrift „Science Advances“ (doi: 10.1126/sciadv.1600666) berichten, haben sie die Proteine aus gentechnisch veränderten Bakterien extrahiert, präpariert und zwischen zwei Spiegeln gebracht. Die Eiweißmoleküle, die grünes Fluoreszenzlicht aussenden können und deshalb als Biomarker genutzt werden, wurden dann mit kurzen Lichtpulsen angeregt. Dabei entstanden Photonen, die als Laserpulse durch einen der Spiegel entwichen. Weitere Besonderheiten: Der Bio-Laser ist sparsam und arbeitet bei Raumtemperatur. F.A.Z.