

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft



SPEZIAL 2005 ▶ Der Weg in die Vergangenheit ▶ Das Geräusch, das aus der Farbe kommt ▶ Von Schlickwatt, Mischwatt und Sandwatt ▶ Interview mit einer Honigbiene ▶ Des Kaisers Wasser-Werke

DFG

In diesem Heft

Zu Gast bei den Old Order Amish

Ohne Strom, Radio oder Fernsehen leben die Amish-People auf ihren Höfen in Lancaster/Pennsylvania. Gemäß ihrer biblischen Grundsätze beharren die Nachkommen deutscher Glaubensflüchtlinge darauf, zwar „in der Welt, aber nicht von der Welt“ zu sein. So gelingt es den heute etwa 180 000 Amischen einen Abstand zur modernen Zivilisation und Technik zu halten – und die eigene Identität zu behaupten. **Seite 18**

Nachrichten aus dem Universum

Gravitationswellen besitzen praktisch keine Wechselwirkungen mit Materie. Das erschwert einerseits ihren Nachweis, macht sie aber andererseits zu idealen Informationsträgern. Mit Hilfe des jetzt entwickelten, hoch empfindlichen Gravitationswellendetektors GEO600 lassen sich neue Auskünfte über Schwarze Löcher, dunkle Materie und den Ursprung des Alls gewinnen. **Seite 36**

Vom Nutzen des Zusammenlebens

Der von Blattläusen produzierte Honigtau ist für Ameisen nicht nur schmackhaft, sondern lebenswichtig. Viele Ameisen decken den Kohlenhydratbedarf ihrer gesamten Kolonie durch die zuckerhaltige Substanz, die sie direkt von der Laus abnehmen. Doch auch die Läuse profitieren von der Beziehung – der Ameisenbesuch schützt vor Räubern und Schmarotzern. **Seite 62**

Inhalt

Ein Motor der Entwicklung S. 2	Die Welt der Lebenden und die Welt der Toten . . S. 40
Das Klima auf der Luftdruckschaukel S. 5	Das Geräusch, das aus der Farbe kommt S. 45
Im Cockpit der Fliege S. 8	Der Weg in die Vergangenheit S. 47
Wenn die biologische Pumpe gestört wird S. 12	Ein frühes Abbild des Krebses S. 51
Vom Ursprung des Sonnensystems S. 17	Über das Leben mit Kamelen S. 52
Nicht von dieser Welt . . . S. 18	Wie Modelle die Realität beschreiben . . . S. 57
Des Kaisers Wasser-Werke S. 22	Von der Wiedergeburt einer großen Bibliothek . . S. 59
Interview mit einer Honigbiene S. 26	Von Läusen und Ameisen S. 62
Von Schlickwatt, Mischwatt und Sandwatt S. 30	Eine Schatzkammer in Sibirien S. 67
Mit den Augen hören und den Händen sprechen . . . S. 35	Die Deutsche Forschungsgemeinschaft . S. 72
Ein Horchposten ins Universum S. 36	



Wegweiser in die Vergangenheit

Alte Wege prägen nicht nur das Gesicht von Gärten und Parkanlagen. Sie sagen uns auch viel über unsere kulturelle Vergangenheit. Wenn heute historische Wege, wie dieses kunstvoll angelegte Labyrinth einer französischen Gartenanlage, rekonstruiert werden, ist das nicht nur für die Denkmalpflege aufschlussreich. (Seite 50) Foto: zefaimages/Miles Ertman

Impressum

»forschung **SPEZIAL** 2005« ist eine Sonderausgabe des vierteljährlich erscheinenden DFG-Magazins »forschung«. **Herausgeber:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Bonn; **Verlag:** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Postfach 10 11 61, 69451 Weinheim. Jahresbezugspreis 2005 von „forschung“: € 46,00 zzgl. MwSt.; **Redaktion:** Dieter Hüsken (Chefredakteur, verantwortlich für den Inhalt, Layout), Dr. Rembert Unterstell, Stephanie Henseler, Angela Kügler-Seifert; **Redaktionsassistenten:** Renate Kahl; **Redaktionsanschrift:** DFG, Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Kennedyallee 40, 53175 Bonn; **Tel.:** 0228 / 885-1; **Fax:** 0228 / 885-2180; **E-Mail:** postmaster@dfg.de; **Internet:** www.dfg.de; **Druck:** Bonner Universitäts-Buchdruckerei; gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit 50% Recyclingfaser.

ISSN 0172-1518

liebe Leserinnen, liebe Leser,

Wenn man zwei Stunden lang mit einem netten Mädchen zusammensitzt, meint man, es wäre eine Minute. Sitzt man jedoch eine Minute auf einem heißen Ofen, meint man, es wären zwei Stunden. Das ist Relativität – Albert Einstein, der sich mit diesen launigen Worten einmal über seine in diesem Jahr 100 Jahre alt gewordene Relativitätstheorie äußerte, war nicht nur ein herausragender Mann der Wissenschaft, sondern auch ein Meister des Wortes. Selbst 50 Jahre nach seinem Tod sind seine Gedanken wertvolle Ratgeber, die uns helfen, die Welt zu verstehen. Dass in diesem Bemühen die Wissenschaft ein entscheidender Motor der Entwicklung ist, wird immer wieder als eine Selbstverständlichkeit bezeichnet. Aber ist diese Selbstverständ-

lichkeit tatsächlich fest im Bewusstsein aller verankert? Die Sorge, dass das eigentlich Selbstverständliche keineswegs so selbstverständlich ist, bewegte schon Einstein: „Sollen sich ... alle schämen, die gedankenlos sich der Wunder der Wissenschaft und Technik bedienen und nicht mehr davon geistig erfasst haben als die Kuh von der Botanik der Pflanzen, die sie mit Wohlbehagen frisst.“

Wie ist es heute? Denken wir noch daran, welche wissenschaftlichen Leistungen erforderlich waren, bevor wir das erste Handy in die Hand nehmen konnten, um von jedem Ort der Erde zu jedem anderen telefonieren zu können? Ist uns noch bewusst, welch umfangreiche Grundlagenforschung nötig war, bevor eine sympathische Stimme

aus dem Navigationssystem unseres Autos den Weg selbst in den entferntesten Winkel weisen konnte? Führen wir uns noch vor Augen, welch gewaltiger wissenschaftlicher Leistungen es bedurfte, um den abendlichen Fernsehnachrichten die immer präziser werdenden Vorhersagen des kommenden Wetters zu entnehmen?

Es ist nicht nur verständlich, sondern durchaus wünschenswert, wenn spektakuläre Entwicklungen, die uns das Leben erleichtern, über kurz oder lang in den Alltag integriert werden und damit den Reiz des Besonderen verlieren. Doch wenn wir den Blick in die Zukunft werfen, kann es nicht schaden, sich der Ursprünge gewiss zu sein. Nur dann nämlich gerät eine Erkenntnis nicht in Vergessenheit, die für die Gestaltung unserer Zukunft von elementarer Bedeutung ist, eben diese, wie sehr die Entwicklung unserer Gesellschaft von der Wissenschaft und den Ergebnissen ihrer Untersu-

Prof. Dr.
Ernst-Ludwig Winnacker

*Für die Gestaltung unserer Zukunft
ist die Wissenschaft von elementarer Bedeutung.
Deshalb ist es wichtig, nicht nur neue, innovative Ideen rasch umzusetzen,
sondern auch die Rahmenbedingungen so zu verändern,
dass Forschung auf höchstem Niveau gewährleistet werden kann.
Denn nur durch verstärkte Anstrengungen bleibt sie*

Ein Motor der Entwicklung

chungen abhängt. Lassen Sie mich das an drei Beispielen erläutern:

Am 16. Februar ist das „Kyoto-Protokoll“ zur Reduzierung von Treibhausgasen in Kraft getreten. So nötig dieser Schritt zum Schutz unseres Klimas auch war, so halbherzig wird seine Umsetzung sein. Um nämlich den Gesamtausstoß von Treibhausgasen zu verringern, beginnt 2008 weltweit der Handel mit so genannten „Emissionszertifikaten“. Wer viele Treibhausgase produziert, muss diese „Ablassscheine“ von denjenigen kaufen, die wenig produzieren. Das belegt die Schwäche des Systems – es fehlt die globale Komponente. So wird der Anreiz erhöht, Produktionen einfach in Drittländer zu verlagern. Solcherlei Halbherzigkeit hat man auch lange Zeit der Wissenschaft zur Last gelegt, da sie keine Nachweise für den menschlichen Einfluss auf die Klimaveränderung erbringen konnte. Nun aber liegen diese Beweise vor. „Halbherzig“ ist also nicht die Wissenschaft, sondern

allenfalls eine Politik, die wissenschaftliche Erkenntnisse nicht hinreichend umsetzt.

Ein weiteres Beispiel: das Altern unserer Gesellschaft. Seit 1840 werden die Menschen in jedem Jahr um drei Monate älter. Gleichzeitig sinkt die Geburtenrate dramatisch. Folge: Im Jahr 2040 müssen 100 Arbeitnehmer nicht mehr 50 – wie heute –, sondern 84 Rentner ernähren. Es ist nicht die Wissenschaft, die den jungen Menschen zumutet, jene Schulden zu tilgen, die wir heute machen. Es war die Politik, die viel zu lange gewartet hat, in ihre Rentenberechnung den demographischen Faktor mit einzubeziehen.

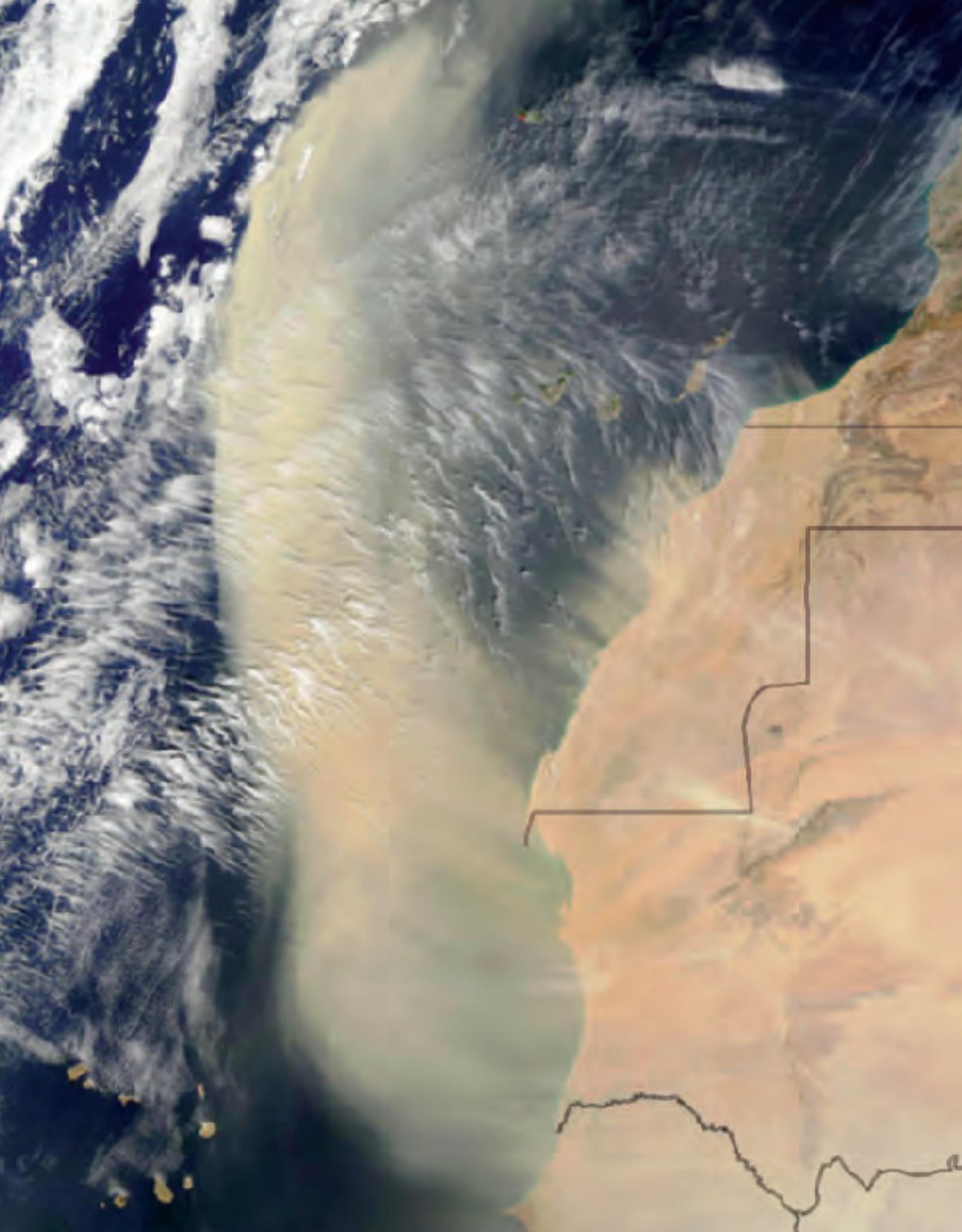
Ein letzter Fall ist im Bereich der Medizin angesiedelt und betrifft die klinische Forschung. Um den Einfluss von allerlei Faktoren, von der Ernährung über genetische Hintergründe eines Krankheitsbildes bis hin zu neuen Arzneimitteln zu untersuchen, sind klinische Studien erforderlich. Das heißt: Versuche an und mit Menschen – in einem klini-

schen Umfeld, das höchste Sorgfalt gewährleistet. In Deutschland werden solche Studien seit Jahren als Stiefkinder der klinischen Forschung betrachtet. Für die dafür notwendigen speziell ausgebildeten Ärzte und Krankenpfleger fehlen die erforderlichen Mittel. So ziehen geradezu zwangsläufig weltweit organisierte Studien, wie solche über Bluthochdruck oder Brustkrebs, an Deutschland vorbei. Die Folge ist, dass die Reputation unserer klinischen Forschung sinkt. Wenn dann – wie geschehen – durch ein Urteil des Bundessozialgerichts entschieden wird, dass die Grundversorgung von Forschungspatienten nicht mehr durch die Krankenkassen bezahlt werden muss, dann werden solche Studien derart teuer, dass sie trotz eines bescheidenen neu aufgelegten Förderprogramms von DFG und Bundesregierung kaum noch zu finanzieren sind. Wen wundert es, wenn viele junge Ärztinnen und Ärzte dann ihre wissenschaftliche Zukunft eher in den USA sehen?

Die Wissenschaft ist ein Eckpfeiler in der Entwicklung unserer Gesellschaft. Seine Stabilität zu schmälern hätte fatale, unsere Zukunft gefährdende Folgen. Deshalb kommt es nicht nur darauf an, wissenschaftliche Ergebnisse konsequent umzusetzen. Es müssen auch Rahmenbedingungen geschaffen werden, die eine Forschung auf höchstem Niveau gewährleisten – damit wir für die Zukunft gerüstet sind. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Ihnen mit diesem Magazin einen weiteren Einblick in ihre Tätigkeit bietet, fördert die Wissenschaft in allen ihren Zweigen. Bitte lassen Sie sich von der Notwendigkeit dieser Aufgabe überzeugen. Denn, um noch einmal Albert Einstein zu zitieren, „Eine neue Art von Denken ist notwendig, wenn die Menschheit weiterleben will.“



Ernst-Ludwig Winnacker
Präsident der Deutschen
Forschungsgemeinschaft

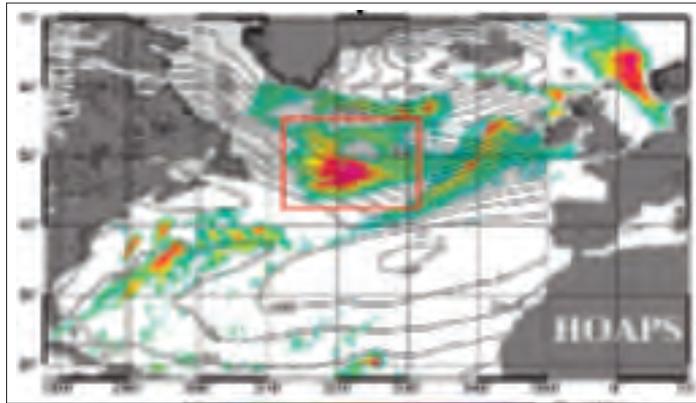


Das Klima auf der Luftdruckschaukel

Das Wetter in unseren Breiten lässt sich gut für einige Tage vorhersagen. Wie es aber um die langfristigen Trends im Klimasystem des Nordatlantiks steht, ist weitgehend unbekannt. Meteorologen erforschen die Grundlagen

Warum war der Sommer 2003 so schön und der im Jahr davor verregnet? Oder warum war der letzte Winter so mild? War dies die Folge einer rein zufälligen Häufung kurzzeitiger Wettersysteme (Hoch- und Tiefdruckgebiete)? Oder gibt es einen langfristigen Trend oder langzeitige Perioden in der Häufung kurzzeitiger Wetterereignisse? Mit diesen und anderen Fragen befassen sich Wissenschaftler, die dem Thema „Tiefdruckgebiete und Klimasystem des Nordatlantiks“ auf der Spur sind.

Dass das Wetter in Europa sich dauernd ändert und nicht wie in den Tropen relativ gleich bleibt, liegt vor allem am nordatlantischen Klimasystem. Es umfasst den Nordatlantik selbst, die Atmosphäre darüber, das Eis (insbesondere das Meereis) und die angrenzenden eisfreien Landflächen. Jede dieser Teilkomponenten beeinflusst die anderen. Verantwortlich für kurze Zeiträume, also für Schwankungen von Tag zu Tag bis zu Schwankungen von Jahr zu Jahr, sind interne Wechselwirkungen, vor allem die zwischen Ozean und Atmosphäre. Sich über Jahrhunderte oder noch länger entwickelnde Veränderungen beruhen vorwiegend auf externen Einflüssen, wie veränderliche Abstrahlung der Sonne oder gar Kontinentalverschiebungen. Modelle zur Wettervorhersage liefern



Satellitendaten wie Bilder von Saharastaub, den der Wind in großen Mengen über den östlichen Atlantik trägt, finden ihren Niederschlag in Modellvorhersagen der Meteorologen. Damit die prognostizierten Regenmengen den tatsächlichen Gegebenheiten nahe kommen, justieren die Forscher ständig ihre Modelle und verbessern Messmethoden und eingehende Daten.

heute recht gute Prognosen für wenige Tage bis zu einer Woche. Über einen Zeitraum von zwei Wochen hinaus sind solche Vorhersagen nicht mehr möglich.

Nach heutigem Kenntnisstand gibt es im nordatlantischen Klimasystem so genannte Schlüsselprozesse und -orte, durch welche und an denen Wirkungen ausgelöst werden können, auf die das globale Klima empfindlich reagiert. Eine solche Schlüsselregion ist die Framstraße, die Meerenge zwischen Grönland und Spitzbergen. Solchen Regionen widmet sich die Forschungsarbeit in besonderem Maße.

Die Methoden zur Untersuchung des nordatlantischen Klimasystems und darin ablaufender Prozesse sind sowohl theoretischer als auch experimenteller Art. Im theoretischen Bereich spannt sich das Methodenspektrum von einfachen prinziporientierten Modellen bis zu realitätsnahen Modellen. Letztere unterscheiden sich wiederum im

Grad ihrer Komplexität und Kopplung. Es gibt Modelle, die nur die Atmosphäre oder Atmosphäre und Ozean gekoppelt betrachten. Manche koppeln aber auch viele Teilkomponenten wie Atmosphäre, Ozean, Eis, Landflächen mit unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und Feinauflösung.

Im experimentellen Bereich werden in Schlüsselregionen gezielte Feldmessungen durchgeführt. In internationaler Kooperation und in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt, können sie die komplexen Schlüsselprozesse erfassen. Sie stützen sich auf Vor-Ort-Messungen, aber auch Flugzeug- und Schiffmessungen sowie auf lange Beobachtungsreihen von Satelliten- und Wetteranalysedaten, die bis zu 100 Jahre zurückreichen können. Anhand der Daten der Feldexperimente überprüfen die Wissenschaftler nicht nur ihre Hypothesen, sondern auch, ob die eingesetzten Modelle wichtige Schlüsselprozesse richtig wiedergeben. Das dominierende Luftdruckmuster im nord-

atlantischen Raum ist die so genannte Nordatlantische Oszillation (NAO). Sie ist gekennzeichnet durch Schwankungen der Stärke des Tiefs bei Island und des Hochs bei den Azoren. Die typischen Perioden der Schwankungen liegen im Bereich von Wochen bis Jahren. Sind beide Druckgebilde stark ausgeprägt, haben wir in Mitteleuropa überwiegend Westwindwetter, sind beide schwach, kommt Ostwindwetter viel häufiger vor. Die NAO-Luftdruckschaukel ist schon seit mehr als hundert Jahren bekannt. Untersuchungen mit Prinzipmodellen zeigen, dass die Ausprägung der NAO bei der gegebenen Land-See-Verteilung auf der Nordhalbkugel vom Längengradabstand der quasi permanenten Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik und dem Nordpazifik abhängt. Experimentell schon lange bekannte Befunde erhalten durch die Computermodelle eine kausale Erklärung.

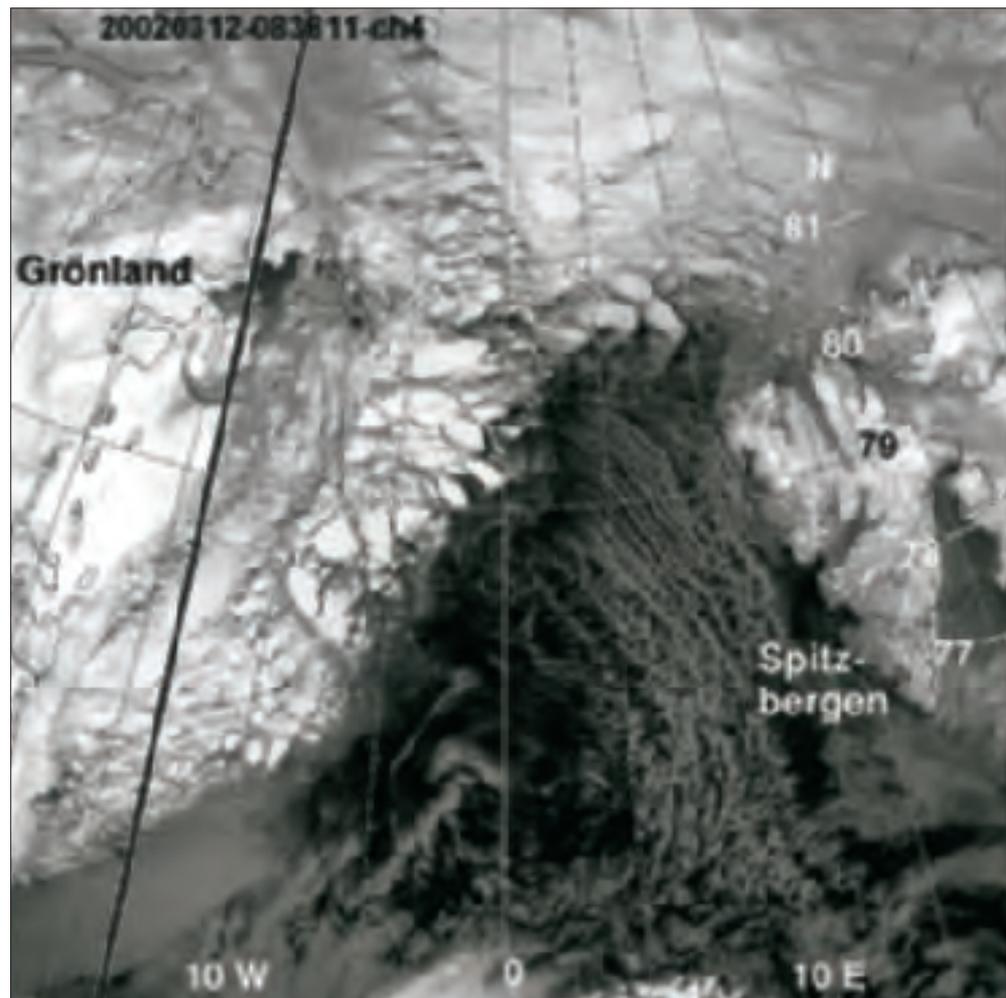
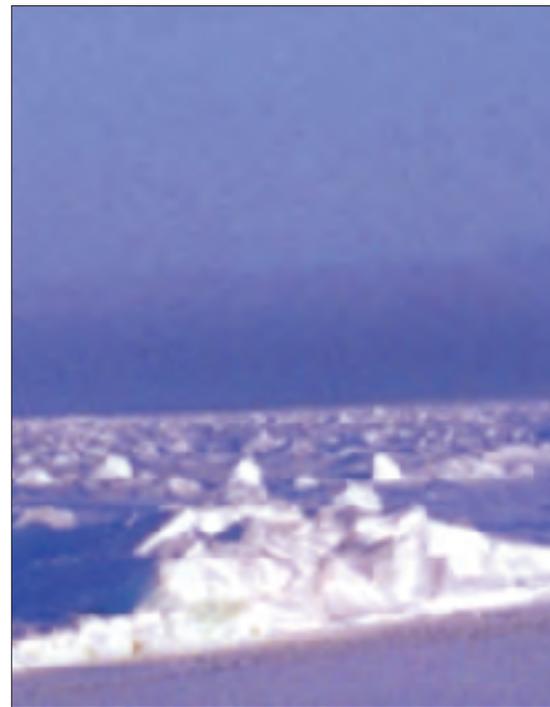
Eine Besonderheit des nordatlantischen Klimasystems ist die Kopplung mit dem Arktischen Ozean und damit dem Hauptgebiet der Meereisbildung auf der Nordhalbkugel. Beim Gefrieren von Meerwasser wird Salz freigesetzt. Das umgebende Wasser nimmt dieses Salz auf, wird schwerer und sinkt ab. Dieser Prozess führt zu einem großräumigen Umwälzen von Wasser im Nordatlantik. Dichteres Wasser strömt in der Tiefe aus dem Arktischen Ozean und über einige untermeerische Schwellen zwischen Grönland und Schottland hinweg in den Nordatlantik. Zum Ausgleich strömt oberflächennah leichteres Wasser vom Golfstrom kommend vor Norwegen nordwärts.

Zum allergrößten Teil driftet das im Arktischen Ozean gebildete Meereis durch die Framstraße und im Ostgrönlandstrom südwärts in den Atlantik. Dort hinterlässt das schmelzende Eis eine „Süßwasserlinse“, die aufgrund der stabilen Dichteschichtung Vertikalvermischungen erschwert. Durchschnittlich strömt pro Jahr etwa ein Zehntel der arktischen Eisfläche durch die Framstraße, was dem 120-fachen Süßwassertransport der Elbe entspricht. Allerdings schwankt der jährliche Eistransport durch die

Framstraße stark. Mittels Feldexperimenten und Modellrechnungen soll geklärt werden, auf welche Weise Tiefdruckgebiete die Eisdrift beschleunigen oder bremsen.

Bei zwei Expeditionen in die Framstraße in den Jahren 1999 und 2002 wurden automatische Eisbojen, Schiffe, Flugzeuge und Satellitenfernerkundung eingesetzt, um Tiefdruckgebiete und ihre Wirkung auf das Meereis zu vermessen. Die gemessenen Tiefdruckgebiete wurden in den theoretischen Modellen allerdings nicht vorhergesagt. Die Wissenschaftler prüfen derzeit, welche Prozesse in den Modellen fehlen könnten.

Der Ostgrönlandstrom transportiert Meereis und Wasser aus dem Arktischen Ozean südwärts. Die Eigenschaften wie Salzgehalt und Temperatur dieses Wassers variieren jahreszeitlich und von Jahr zu Jahr, somit verändern sie auch die





Bedingungen für das Überströmen des dichten Wassers über die Grönland-Island-Schottland-Schwellen in den Atlantik. Seit vielen Jahren werden die Dichteschichtung und Wassertransporte gemessen. Dabei setzt man verankerte Instrumente ein. Besonders schwierig gestalten sich die Messungen unter dem Meereis. Die Geräte werden meist im Sommer bei geringem Eisgang ausgelegt und sammeln Messdaten automatisch über ein Jahr. Im darauf folgenden Sommer werden sie wieder geborgen und neue Geräte

Linke Seite: Messungen in der Luft und unter Wasser geben Aufschluss über die Prozesse, die zum Beispiel die driftenden großen und kleinen Eisschollen im Nordatlantik beeinflussen. Das Forschungsflugzeug FALCON (oben) misst durch auf dem Meeresgrund verankerte Geräte sogar unter der Wasseroberfläche. So werden die Wechselwirkungen zwischen Meer, Eis und Atmosphäre studiert.

ausgelegt. Neben dem Impuls-, Wärme- und Feuchteaustausch an der Oberfläche ist der Niederschlag eine wichtige Größe für die Atmosphäre-Ozean-Wechselwirkung. Über dem Meer gibt es aber so gut wie keine Messungen des Niederschlags. Er wird indirekt aus Daten der Satellitenfernerkundung abgeleitet. Die Ergebnisse bei einzelnen Wetterlagen wie auch jene klimatologischer Untersuchungen werden zur Überprüfung von Modellen bei der Simulation des Niederschlags eingesetzt. Vergleiche in mehreren Fällen deuten an, dass die Modelle den Niederschlag an Fronten zufriedenstellend wiedergeben, aber der Schauerniederschlag hinter Kaltfronten völlig unterschätzt wird.

Aerosole sind natürliche oder vom Menschen geschaffene, gering konzentrierte Luftbeimengungen,

wie der Wüstenstaub aus der Sahara oder Emissionen aus den Industriegebieten Nordamerikas und Europas. Dennoch können Aerosole direkt oder indirekt die Strahlungsbilanz und den Niederschlag über dem Nordatlantik wesentlich beeinflussen. Modellrechnungen mit und ohne Berücksichtigung des Aerosols zeigen, dass mit Aerosol die Wasseroberflächentemperatur des subtropischen Nordatlantiks um ein Grad Celsius kälter ist und dass das Azorenhoch signifikant verschoben ist. Aus Satellitendaten werden die optischen Eigenschaften und die Verteilungen des Aerosols ermittelt und in Modellrechnungen seine Wirkungen untersucht.

Fazit: Die bisherigen Messungen und Modelle setzen Einzelerkenntnisse wie in einem Puzzle zu einem Gesamtbild zusammen – und tragen schrittweise zu einem besseren Verständnis des nordatlantischen Klimasystems und des Weltklimas bei.

*Prof. Dr. Burghard Brümmner
Universität Hamburg*

Die DFG unterstützt die Untersuchungen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 512 „Tiefdruckgebiete und Klimasystem des Nordatlantiks“.

Kleine Gehirne, wie die von Fliegen, können große Gehirne, ganz zu schweigen von technischen Systemen, in manchen Leistungen bei weitem übertreffen. Ein Beispiel ist die Schnelligkeit der visuellen Bildverarbeitung. Dank eines breiten Spektrums von Forschungsansätzen beginnen wir die zu Grunde liegenden neuronalen Mechanismen zu verstehen.

Wer schon einmal zwei Fliegen bei ihren Verfolgungsjagden beobachtet hat, weiß um die rasanten Flugmanöver dieser kleinen Piloten. Während es menschlichen Beobachtern kaum möglich ist, den Flugkurs mit den Augen zu verfolgen, schafft es die verfolgende Fliege sogar, ihren schnell fliegenden Artgenossen zu fangen. Dabei verlässt sie sich weitgehend auf ihre großen Facettenaugen, die einen fast vollständigen Rundumblick ermöglichen. Diese übermitteln fortlaufend Bilder an das Gehirn, die dort in Bruchteilen von Sekunden ausgewertet und in Kurssteuersignale umgewandelt werden.

Um kennen zu lernen, was die Fliege bei ihren rasanten Manövern alles sieht, versetzen wir uns in Gedanken in das Cockpit des Tieres. Gleich nach dem Start beginnt sich die Umwelt vor beiden Augen von vorne nach hinten an uns vorbei zu bewegen. Plötzlich macht die Fliege eine ruckartige Drehung nach links: dabei bewegt sich die Umwelt in unserem Blickfeld kurzzeitig nach rechts. Unvermittelt nähern wir uns einem Hindernis: Dieses scheint immer größer zu werden und seine Konturen verschieben sich von der Mitte des Sehfelds zu dessen Randbereichen. Durch eine weitere ruckartige Drehung nach rechts, die mit großflächigen Bildverschiebungen nach links einhergeht, gelingt es der Fliege, dem Hindernis auszuweichen. Jetzt kommt das Zielobjekt, eine andere Fliege, in den Blick. Auch sie bewegt sich, jedoch mit einer anderen Geschwindigkeit als die Umwelt. Die dadurch auftretende Relativbewegung macht die verfolgte Fliege vor dem Hintergrund sichtbar. Die Verfolgung kann beginnen.

Ein derartiger Bildfluss tritt nicht

Im Cockpit



der Fliege

Kleine Gehirne können große Gehirne an Leistung bei weitem übertreffen. So hat sich die Fliege als hervorragendes Modellsystem für die Bildverarbeitung im Gehirn erwiesen



Ihren kugelförmigen Facettenaugen verdankt die Fliege einen fast vollständigen Rundumblick. Dadurch ist es ihr auch möglich, fliegende Artgenossen bei hoher Geschwindigkeit zu verfolgen.

sondern auch auf unseren Augen, wenn wir uns zum Beispiel im Straßenverkehr bewegen. Allerdings sind die Veränderungen des Bildflusses während der Flugmanöver von Fliegen um ein Vielfaches schneller als die auf den Augen von Menschen. Dies gilt sogar für Formel 1-Rennfahrer oder Piloten von Düsenjets. So können Fliegen bis zu zehn ruckartige Drehungen pro Sekunde machen, bei denen sie Drehgeschwindigkeiten von bis zu 5000 Grad pro Sekunde erreichen. Derartige Drehgeschwindigkeiten könnten Menschen schon körperlich überhaupt nicht aushalten.

Die Fliege hat sich als hervorragendes Modellsystem erwiesen, um den Prozessen im Gehirn, die der Verarbeitung des Bildflusses auf den Augen dienen, auf die Spur zu kommen. Zum einen ist das Sehsystem der Fliege auf die Lösung dieser Aufgabe optimiert. Zum anderen ist hier die experimentelle Analyse mit einem breiten Methodenspektrum möglich. Alle Methoden zur Untersuchung der neuronalen Schaltkreise können im weitgehend intakten Tier eingesetzt werden. Deshalb ist es möglich, die Vorgänge im Gehirn zu untersuchen, während dieses seine natürlichen sensorischen Eingangssignale erhält.

Die neuronalen Schaltkreise, die bewegte Bilder auf der Netzhaut der Fliege auswerten, konnten mittlerweile in ihren Grundzügen aufgeklärt werden. Die Bildbewegungen werden nicht unmittelbar vom Auge wahrgenommen. Vielmehr nimmt das Auge der Fliege lediglich eine sich ständig ändernde Helligkeitsverteilung wahr. Daraus muss das Gehirn in einer Reihe von Verarbeitungsschritten Informationen über die Bildbewegungen auswerten. Auf diese Weise wird die Flut an Informationen, die in den Netzhautbil-

dem enthalten ist, auf das Wesentliche reduziert.

Die Lichtsinneszellen auf der Netzhaut einer Fliege registrieren von ihrer Umwelt nur die Helligkeitswerte. Die nächst höhere Gruppe von Nervenzellen, die lokalen Bewegungsdetektoren, vergleichen die Helligkeitsinformationen benachbarter Lichtsinneszellen und reagieren nur bei einer räumlichen oder zeitlichen Änderung der Helligkeit. Bewegung wird signalisiert, wenn zwei benachbarte Lichtsinneszellen kurz hintereinander denselben Helligkeitswert melden, zum Beispiel hell-hell. Dabei reagiert jeder Bewegungsdetektor am stärksten auf die Bewegung in eine bestimmte Richtung. Die Informationen vieler lokaler Bewegungsdetektoren werden von integrierenden Neuronen zusammengefasst. Diese sind in der Lage, charakteristische Verhaltenssituationen, beispielsweise einen Kurvenflug zu erkennen.

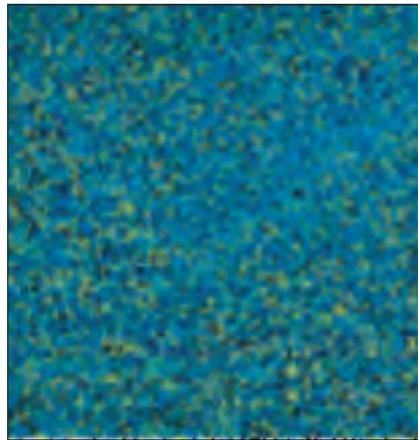
Diese Erkenntnisse wurden anhand von Untersuchungen mit relativ einfachen Reizen gewonnen. Bei diesen Versuchen wurden beispielsweise schwarze Balken vor den Augen der Fliege bewegt und die Nervennetze zur visuellen Bildverarbeitung elektrophysiologisch analysiert. Für die elektrophysiolo-



gische Analyse werden feine Messsonden in einzelne Nervenzellen eingeführt und deren elektrische Aktivität registriert. Mit diesen Experimenten kann man aber nicht herausfinden, wie Informationen über die Umwelt im normalen Kon-

text, zum Beispiel beim Umherfliegen, verarbeitet werden. Wenn man untersuchen will, wie diese natürlichen visuellen Eindrücke verarbeitet werden, muss man zwei Aspekte beachten. Zum einen sind Neurone, zumindest verglichen mit technischen Schaltelementen, ausgesprochen unzuverlässig, das heißt, sie reagieren sehr unterschiedlich auf die mehrmalige Präsentation eines Reizes. Zum anderen werden visuelle Reize in realen Verhaltenssituationen nicht wie in einem Experiment von außen vorgegeben, sondern durch die Art und Weise bestimmt, in der sich das Tier bewegt.

Um die neuronale Verarbeitung von natürlichen visuellen Reizen zu studieren, entwickelten wir eine Art Panoramakino für Fliegen („FliMaxX“), das es erstmals erlaubt, den Bildfluss, den Fliegen im freien Flug gesehen haben, einer auf einer Halterung befestigten Fliege vorzuspielen und dabei gleichzeitig die Aktivität ihrer Nervenzellen zu registrieren. Beim Menschen beginnen aufeinander folgende Bilder eines Kinofilms schon bei 25 Bildern pro Sekunde zu einem natürlichen Eindruck zu verschmelzen. Das zeitliche Auflösungsvermögen des Sehsystems der Fliege ist jedoch ungleich höher als

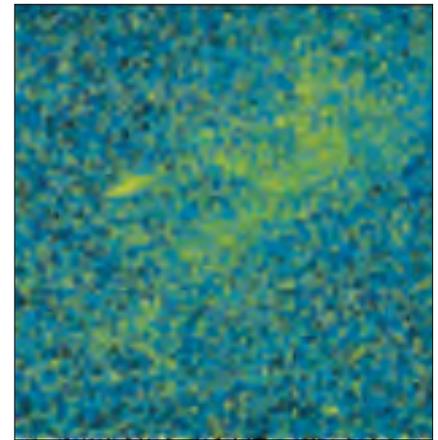


das des Menschen. Der Film in unserem „FliMaxX“ wird daher mit einer Geschwindigkeit von 370 Bildern pro Sekunde abgespielt. Bei dieser Geschwindigkeit verschmelzen die Bildsequenzen vor den Augen der Fliege zu einem natürlichen Eindruck, wie er während

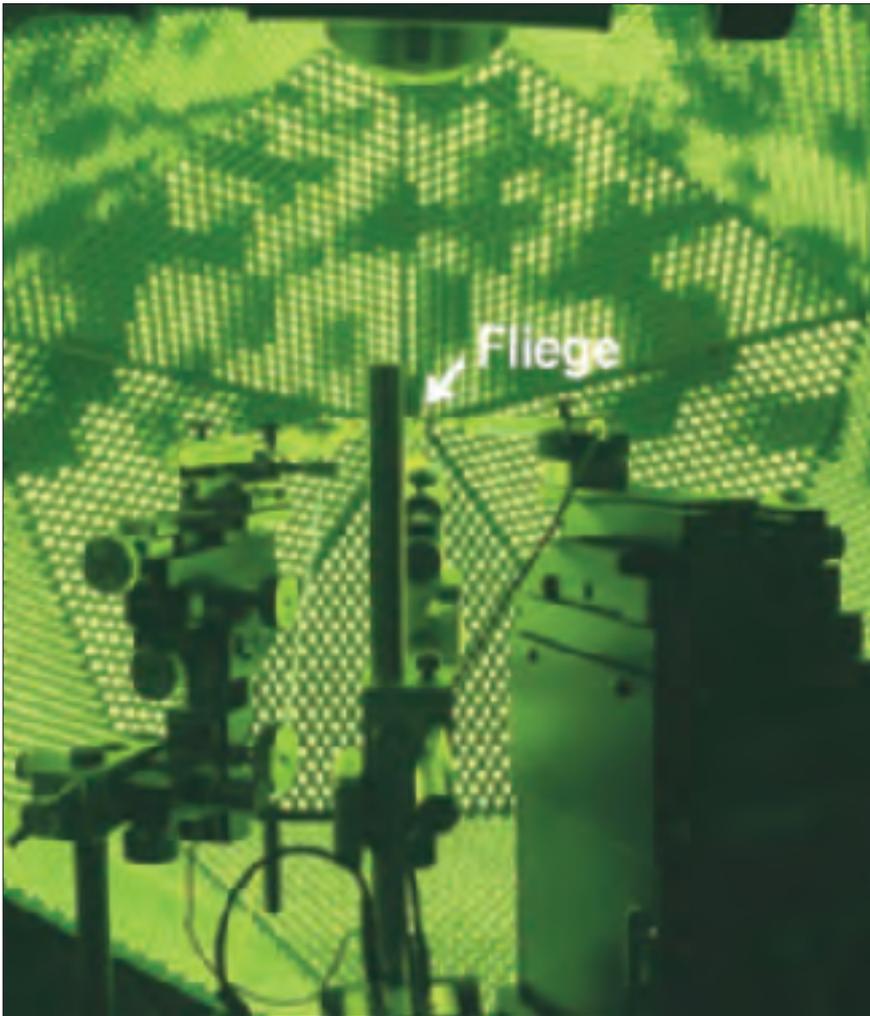
schneller Flugmanöver auf den Augen auftritt.

Laufende Untersuchungen im „FliMaxX“ legen nahe, dass die Mechanismen der visuellen Bildauswertung bei Fliegen nur deshalb so schnell und effizient in der Lage sind, dem Gehirn die notwendige Information über die Umwelt zur Verfügung zu stellen, weil sie nur relativ wenige Schaltelemente benötigen. Diese einfachen Mechanismen funktionieren zwar nicht unter allen erdenklichen Bedingungen, dafür aber besonders gut, wenn sich das Tier in seinem normalen Verhaltenskontext befindet. Die Verarbeitung der visuellen Eindrücke ist also optimal an die spezifischen Gegebenheiten des Fliegenlebens angepasst. Ob diese Überlegungen zutreffen, muss durch eine detaillierte Modellierung getestet werden. Dazu entwickelte unsere Ar-

Ein bildgebendes Verfahren macht die neuronale Informationsverarbeitung deutlich. Links ist die verzweigte Ausgangsregion einer Nervenzelle zu sehen. Bewegt sich etwas im Sehfeld der Fliege (roter Balken), strömt Calcium in die Nervenzelle. Dies wird in der Bildfolge durch zunehmende Gelbfärbung deutlich.



beitsgruppe ein Computerprogramm, das die neuronale Verarbeitung der Netzhautbilder der freifliegenden Tiere simuliert. Dabei berücksichtigten wir die bisherigen Erkenntnisse über die neuronale Verarbeitung der Bilder und die Tatsache, dass Nervenzellen auf



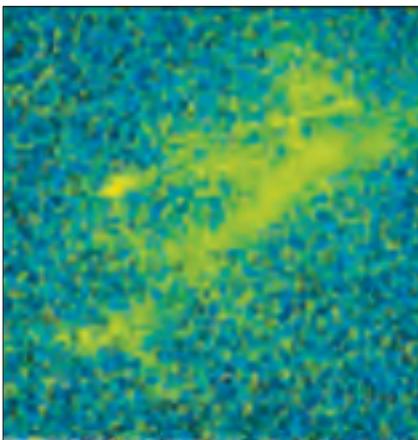
Für die Untersuchung der Hirnleistung von Fliegen wurde eigens das Panoramakino „FliMaxX“ entwickelt. Die Fliege befindet sich in dessen Zentrum und blickt auf den Schirm. Von hinten werden feine Mess-Sonden in ihr Gehirn eingeführt.

wird, könnten die Mechanismen biologischer Informationsverarbeitung wertvolle Anregungen für die Entwicklung technischer Systeme liefern. Tatsächlich ist dies bereits in verschiedenen Arbeitsgruppen in Europa und den USA gelungen. Sie nutzten Modelle, die für Teile des Bewegungssystems der Fliege entwickelt wurden, zur Entwicklung von Computerchips, die bei der Steuerung von Robotern eingesetzt werden. Trotzdem gibt es derzeit noch kein technisches System, das die Aufgaben der Flugsteuerung so schnell lösen kann wie die Fliege.

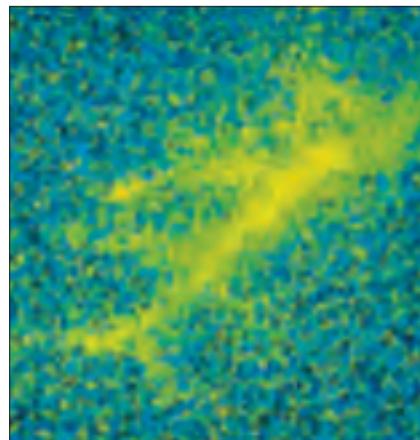
Mechanismen zur autonomen Navigation, zur Vermeidung von Hindernissen und zur Verfolgung bewegter Ziele sind im technischen Bereich von zentraler Bedeutung, insbesondere wenn sie relativ einfach und effizient sind.

Dies ist bei der Fliege gegeben, denn sie erbringt ihre Leistungen mit einem Gehirn, das nicht mehr als 1 Milligramm (!) wiegt. Möglich wird dies sicherlich nur, da neuronale Schaltkreise in biologischen Systemen einer sehr viel längeren Testphase unterliegen, als dies für irgendein technisches System möglich ist. Oder sollten 200 Millionen Jahre Evolution nicht ausgereicht haben, um im Wechselspiel von Mutation und Selektion zu möglichst sparsamen und hinreichend ausgefeilten Lösungen für die Ausstattung des Cockpits der Fliege geführt zu haben?

*Prof. Dr. Martin Egelhaaf
Dr. Roland Kern,
Dr. Rafael Kurtz,
PD Dr. Anne-Kathrin Warzecha
Universität Bielefeld*



denselben Reiz nicht immer gleich reagieren. Schon mit der ersten Version einer „Virtuellen Fliege“ konnten wir wesentliche Aspekte der visuellen Bildverarbeitung auch unter den Bedingungen normaler Verhaltenssituationen erklären. Derzeit sind wir dabei, die „Virtuel-



le Fliege“ zu einem autonom agierenden Agenten weiter zu entwickeln, der in komplexen Umwelten ähnlich effizient und virtuos navigieren kann wie die reale Fliege.

Auch wenn die Entwicklung der „Virtuellen Fliege“ vor allem aus wissenschaftlichem Interesse verfolgt

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren sowie im Rahmen des Graduiertenkollegs „Verhaltensstrategien und Verhaltensoptimierung“ gefördert.

Wenn die biologische Pumpe gestört wird

Weltweit unterbrechen rund 45 000 Staudämme den natürlichen Abfluss des Wassers in die Ozeane. Dadurch wird der Siliziumkreislauf empfindlich beeinträchtigt, das ökologische Gleichgewicht gerät in Gefahr





Silicon Valley ist nicht nur den EDV-Spezialisten ein Begriff. Als elementarer Bestandteil der modernen Informationstechnologie hat Silizium unsere Kommunikation entscheidend beeinflusst. Nicht zuletzt spielt dabei eine Rolle, dass Silizium leicht zu gewinnen ist. Nach Sauerstoff ist es das häufigste Element der Erdkruste und ein Hauptbestandteil unserer Gesteine.

Vor 4,6 Milliarden Jahren hat sich die Erde aus Gas, Staub und Materie gebildet. Die glühende Oberfläche war mehr als tausend Grad Celsius heiß und kühlte sich nur langsam ab. Aus dem flüssigen Erdkern lösten sich mineralische Verbindungen wie Silikate und trugen zur Bildung der Erdkruste bei, bevor der Wasserdampf der Atmosphäre zu kondensieren begann und ein sintflutartiger Regen einsetzte, der tausende von Jahren andauerte. Er ließ einen gigantischen Ur-Ozean entstehen, in dem der Ursprung des Lebens vermutet wird. Bezweifelt wird jedoch, dass die Konzentration einfacher organischer Moleküle in dem Wasser hoch genug war, um komplexe Biostrukturen entstehen zu lassen.

Einer Theorie nach sollen siliziumhaltige Tonminerale das Entstehen einfacher Biomoleküle gefördert haben. Sie zeichnet eine geregelte Anordnung von Silizium in Kristallgittern aus. An der Oberfläche besitzen sie freie Elektronen, mit denen sie Moleküle wie beispielsweise Aminosäuren binden können. Wie auf einer Schablone



ordnen diese sich entlang des Kristallgitters zu Eiweißmolekülen an. So könnten sich auch langkettige Zucker gebildet haben, die als Vorläufer von Nucleinsäuren, dem Grundgerüst der Erbsubstanz DNA, gelten. Anorganische Siliziumverbindungen dienen somit als eine Art Keimboden, auf dem vor etwa 3,8 Milliarden Jahren die ersten Lebensbausteine entstanden.

Milliarden Jahre später schlägt die Evolution der Organismen einen Weg ein, der dieses Verhältnis umkehrt. Im Erdzeitalter des Jura entstehen die Schalen tragenden Planktonalgen, das sind frei im Wasser schwebende, pflanzliche Einzeller. Bei den Kalkalgen be-

Schwimmende Fischfarmen tragen durch intensiven Einsatz von Futtermitteln zu einer Überdüngung des Wassers bei. Das Wachstum schalenloser Algen wird dadurch begünstigt. Zu Studienzwecken müssen Proben genommen werden. Links: Ein auf den Philippinen gewonnener Bohrkern und ein Spezialnetz (oben) zur Gewinnung von Plankton. Rechte Seite: eine Kieselalgenzelle im Lichtmikroskop.

steht die Schale aus Kalziumkarbonat. Viel häufiger sind jedoch die Kieselalgen, die einen siliziumhaltigen Panzer anlegen. Bis zu 12 000 Arten sind bekannt, die eine Vielfalt an Schalenformen mit teils sehr bizarren geometrischen Mustern aufweisen. Organische Moleküle wie langkettige Aminosäuren bilden die Grundlage für die regelmäßige Anordnung von Siliziumbausteinen zur Kieselschale. Dieser Prozess wird „Biominalisation“ genannt. Stellten bei der Entstehung des Lebens Siliziumkristalle die Blaupause für Biomoleküle dar, dienen diese nun als Vorlage für anorganische siliziumhaltige Strukturen.

Unter den Planktonalgen sind die Kieselalgen außerordentlich erfolgreich. In unvorstellbaren Mengen besiedeln sie das Wasser unserer Erde: In einem einzigen Liter Meerwasser können viele Tausend schweben. Man schätzt, dass sie allein etwa 50 Prozent aller organischen Urstoffe im Meer produzieren. Diese Fülle an Kieselschalen bedarf eines ständigen Nachschubs an Silizium. Lieferanten sind zum einen die verwitternden Silikatge-

steine. Wasser und Kohlendioxid aus der Atmosphäre bilden Kohlensäure, die die Gesteine auflöst. Die gewaltigen Wassermassen der Flussläufe schleusen jedes Jahr mehrere Millionen Tonnen gelöstes Silizium in die Küstenmeere, wo es von den Kieselalgen gebunden wird. Bei ihrem Absterben gelangt das Silizium in tiefere Schichten der Wassersäule. In Auftriebsgebieten, wo kaltes Tiefenwasser an die Meeresoberfläche dringt, spülen Strömungen es wieder hoch. So steht Silizium auch im offenen Ozean den Kieselalgen zur Verfügung.

Eng verzahnt mit dem Siliziumkreislauf ist der Kohlenstoffkreislauf, der für das Klima auf unserer Erde von großer Bedeutung ist. Kohlenstoff kommt in der Atmosphäre als Kohlendioxid, im Wasser in Form von gelösten Karbonaten vor. Auf den Kontinenten ist er im Kalkgestein und in fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas gebunden. Während Tiere bei der Atmung ständig Kohlendioxid freisetzen, speichern Pflanzen es wieder über die Photosynthese. Die Kohlenstoffbilanz ist in einem intakten Ökosystem ausgeglichen. Der Mensch produziert jedoch durch die intensive Verbrennung fossiler Rohstoffe vermehrt Kohlendioxid und zerstört die Kohlenstoffspeicher durch großflächiges Abholzen von Wäldern. Eine Folge ist der Treibhauseffekt, die Erwärmung der Erdatmosphäre.

Die Weltmeere, die 71 Prozent der Erdoberfläche bedecken, sind der größte aktive Speicher von Kohlendioxid. In den sonnen-durchfluteten Wasserschichten bilden sich die Planktonalgen und nehmen für ihr Wachstum Kohlendioxid auf. Ein Teil wird in die Nahrungskette geschleust, wo die Meerestiere es in ihren Körper einbauen oder durch Atmung abgeben. Was nicht dem Stoffwechsel anheim fällt, wird meist von Bakterien zersetzt. Auch dabei entsteht Kohlendioxid. So werden große Mengen des Kohlendioxids, das im Oberflächenwasser

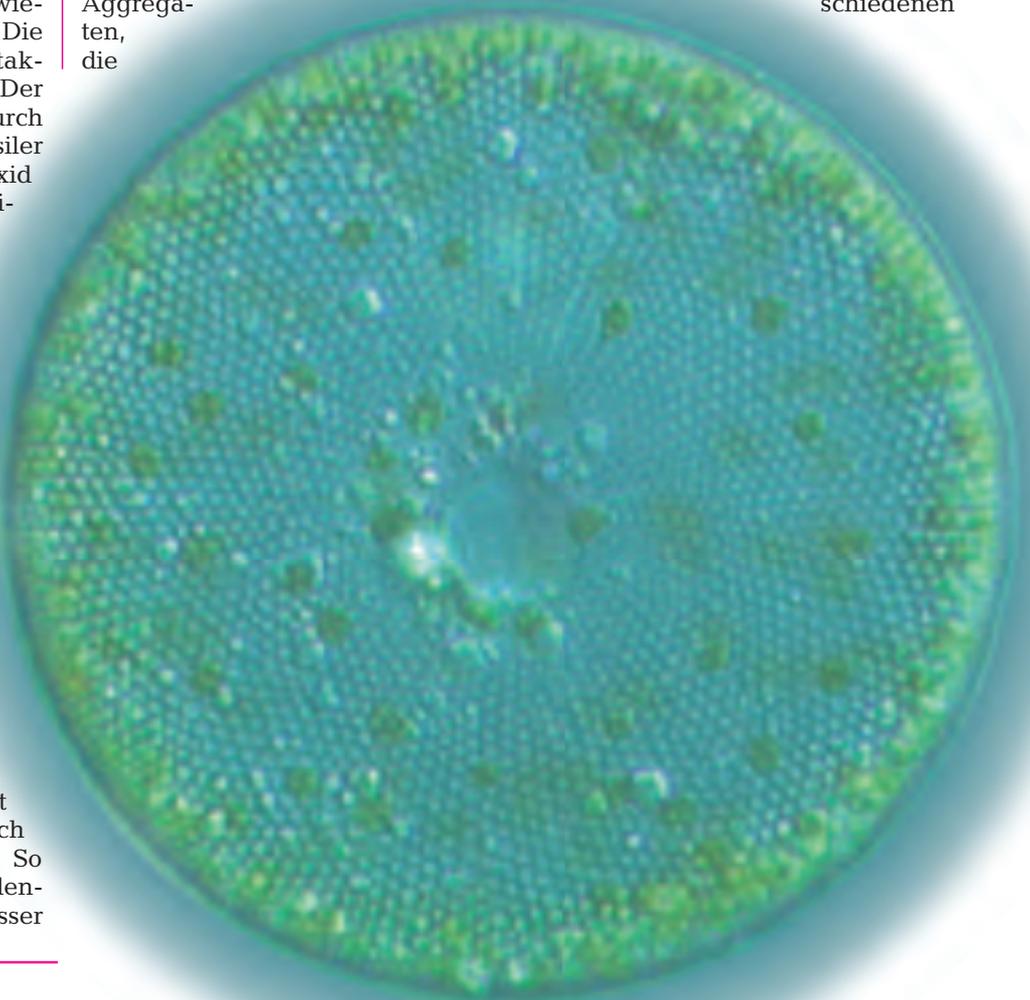
gebunden ist, dort bereits wieder freigesetzt und gelangen durch den Gasaustausch in die Atmosphäre zurück.

In Zeiten des globalen Klimawandels verdient nun ein Prozess besondere Aufmerksamkeit, der der Atmosphäre das Treibhausgas entzieht. Ein Teil der Planktonalgen sinkt entlang der Wassersäule: in Klumpen oder Kotballen eingebunden, verfrachten die toten Zellen den Kohlenstoff in die Tiefe. Bei dieser so genannten „Biologischen Kohlenstoffpumpe“ spielen die Kieselalgen schon aufgrund ihrer großen Verbreitung eine prominente Rolle. Mit ihrem Siliziumpanzer sind sie außerdem deutlich schwerer als schalenlose Algen. Viele Arten scheiden eine klebrige Gallerte aus, mit der sie Kolonien bilden. Diese rieseln beim Absterben aufgrund ihres Gewichts herab und entgehen dabei teilweise ihren Fressfeinden. Meist fangen sich Staub- und Mineralpartikel in den Aggregaten, die

dann bis zu 100 Metern pro Tag zurücklegen. In unseren Breiten trüben sie im Frühjahr und Sommer, wenn durch die Sonnenstrahlen das Algenwachstum zunimmt, als „mariner Schnee“ das Meerwasser.

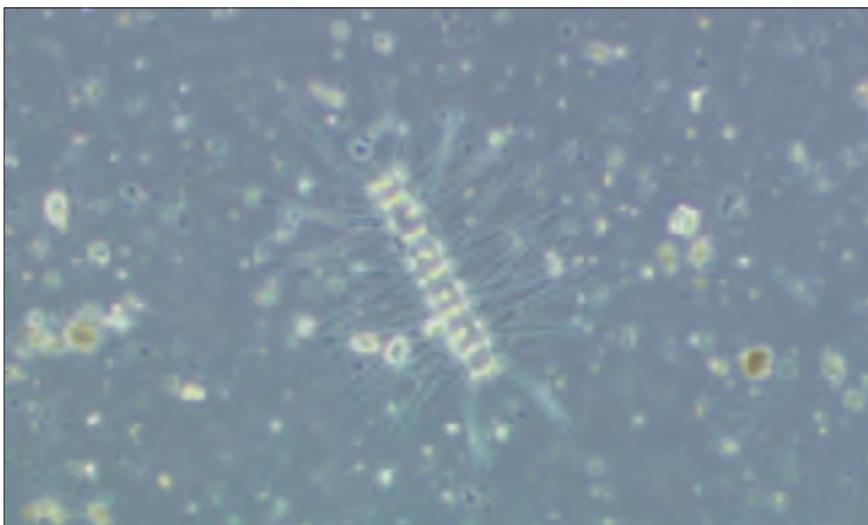
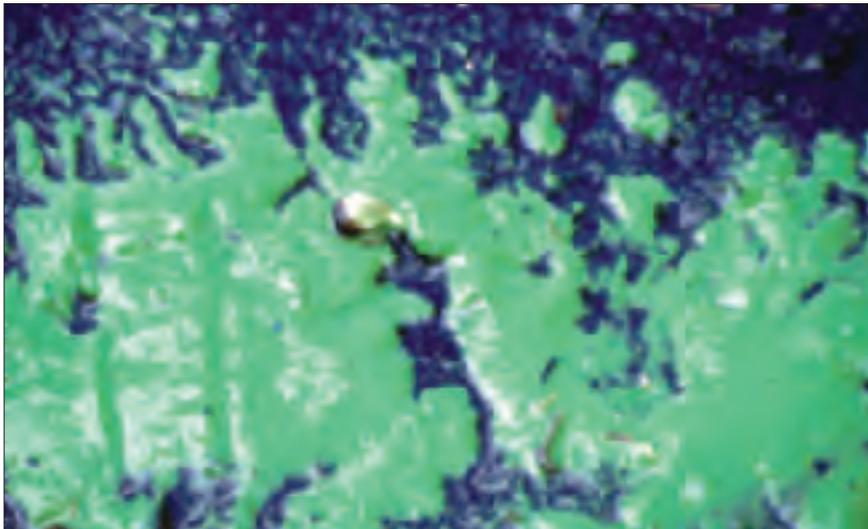
Zwar wird auch in den tieferen Meeresschichten ein Teil der Biomasse abgebaut. Das gelöste Kohlendioxid kann dort aber mehrere hundert Jahre gespeichert werden, bevor es in Auftriebsgebieten wieder mit hochgespült wird. Vieles rieselt jedoch noch tiefer und gelangt bis auf den Meeresboden und damit in den Gesteinskreislauf. Der organisch gebundene Kohlenstoff ist dann für über 100 Millionen Jahre im Sediment begraben. Weltweit sind Millionen Quadratkilometer des Meeresbodens mit Schlack von Kieselalgen bedeckt. Im Laufe der Jahrtausende können sich gewaltige fossile Lager bilden, die mehrere hundert Meter dicke Schichten darstellen.

Wie Zahnräder greifen die verschiedenen



Stoffkreisläufe ineinander und bilden ein eng verflochtenes Gefüge. Fällt ein Rädchen aus, kann ein ganzes System aus dem Lot geraten. Die Ozeane gelten als Regulative im Kohlenstoffkreislauf, da sie rund 50-mal soviel Kohlendioxid wie die Atmosphäre speichern. Durch den ständigen Gasaustausch wirken sich Änderungen im natürlichen Ablauf um den Faktor 50 verstärkt auf das Kohlendioxid in der

Ein dicker Teppich grünen Algenschleims hat sich am Ufer eines indonesischen Stausees gebildet. Eine Überdüngung des Gewässers ist dafür verantwortlich. Darunter: Häufig kommen Kieselalgen in langkettigen Kolonien vor. Deren zylindrisch geformte Zellen sind in charakteristischer Weise durch lange Borsten miteinander verbunden.



Atmosphäre aus. Damit ist auch unser Klima betroffen.

Mittlerweile mehren sich alarmierende Anzeichen dafür, dass der Siliziumkreislauf durch menschliche Eingriffe zunehmend gestört wird. Die wirtschaftliche Nutzung von Flüssen zieht massive Umweltprobleme nach sich. Wie biogeochemische Untersuchungen am Schwarzen Meer erstmals zeigen, hat der Bau von Staudämmen weitreichende Konsequenzen für die Ökosysteme der Küsten. An der Grenze zwischen Rumänien und Serbien stauen riesige Dämme, die „Eisernen Tore“, die Donau auf. Weltweit unterbrechen rund 45 000 große und eine weitaus größere Anzahl kleinerer Staudämme den natürlichen Abfluss des Wassers in die Ozeane.

Anders als in Flüssen bilden sich in den trägen, lichtdurchfluteten Wassermassen der Stauseen die Planktonalgen in großen Mengen. Darunter sind auch die Kieselalgen, die einen erheblichen Teil des Siliziums abfangen. Das Flachland unterhalb der Dämme ist ein bevorzugtes Siedlungsgebiet, in dem meist intensiv Landwirtschaft betrieben wird. Erhebliche Mengen an Abwässern und Düngemitteln können dort in den Fluss gelangen. Im Mündungsgebiet entlassen die Flüsse dann einen „Nährstoffcocktail“ ins Meer, der reich an Phosphaten und Nitraten, jedoch arm an Silizium ist. Dadurch verändert sich die Zusammensetzung des pflanzlichen Planktons in Richtung schalenloser Arten, häufig entstehen „giftige“ Algenblüten. Sie können verheerende Folgen für die Artenvielfalt der Küstenregionen und letztendlich für die Fischerei haben.

Da das Silizium in den Stauseen zurückgehalten wird, steht es für die biologische Pumpe des Ozeans nicht mehr zur Verfügung. Der Eingriff des Menschen in die natürlichen Flussläufe könnte somit einen weiteren Beitrag zum befürchteten Klimawandel darstellen. Eine Erwärmung der Atmosphäre jedoch verändert den Wasserkreislauf. Damit ist auch der Verwitterungsprozess betroffen und letztendlich wiederum der Siliziumgehalt im Meer.

Angesichts dieser Gefahren ist in den letzten Jahren der Siliziumkreislauf ein Schwerpunkt der internationalen biogeochemischen Forschung geworden. Aufgegriffen wurde das Thema auch von SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment), einem weltweit agierenden Zusammenschluss von Wissenschaftlern, der sich mit Umweltproblemen und deren gesellschaftlichen und politischen Folgen beschäftigt.

*Dr. Susanne Eickhoff
Prof. Dr. Venugopalan Ittekkot
Dr. Tim Jennerjahn
Zentrum für Marine
Tropenökologie Bremen*

Die DFG fördert das Projekt im Rahmen der Forschungsaktivitäten des deutschen SCOPE-Komitees.

Mich fasziniert es, mit Material zu arbeiten, das von irgendwo zwischen Mars und Jupiter herkommt und 4,6 Milliarden Jahre alt ist.“ Andreas Pack beugt sich über sein Mikroskop, unter dem kleine Gesteinsproben liegen. Doch im Zentrum seiner Materialforschungen steht nichts Geringeres als der Ursprung des Sonnensystems. Gegenstand der aktuellen Forschung des Mineralogen und Kosmochemikers ist die Entstehung der ersten Silikate im solaren Nebel, von denen sich einige Spuren noch in Meteoriten finden. Konkret analysiert der 31-Jährige die Wechselwirkung zweier aus der Gasphase kondensierter Stoffe. Dabei handelt es sich um Eisen-Nickel-Metall und dem Silikat Olivin, einem sehr häufig im Erdmantel vorkommenden Mineral. Aus der Bestimmung von Spurenelementen im Olivin hofft der junge Wissenschaftler den Gasdruck in der frühen Phase unseres Sonnensystems bestimmen zu können. Dieser gilt als ein wichtiger Parameter für Modelle früher Sonnensysteme.

Nach dem Studium der Mineralogie in Bonn und Johannesburg sowie einem mehrmonatigen Post-Doc-Aufenthalt in den USA begann Andreas Pack 2001 seine eigentliche Beschäftigung mit der Kosmochemie am Institut für Mineralogie und Geochemie der Universität zu Köln. Auf grundsätzliche Erkenntnisse über die Wechselwirkung von Metall und Silikaten kann er allerdings bereits aus seiner Dissertation über Oxideinschlüsse in Stahl (2000) zurückgreifen. Prinzipiell bestehe kein Unterschied zwischen der Reaktion von Metall und Silikat bei der Metallschmelze im Stahlwerk und im solaren Nebel vor 4,6 Milliarden Jahren. Seine Arbeit im Stahlwerk, etwa bei ThyssenKrupp in Dort-

mund, „dort, wo es so richtig raucht und dampft“, war vor diesem Hintergrund eine Erfahrung, die der junge Wissenschaftler nicht missen möchte. Dennoch gilt sein Augenmerk nunmehr gänzlich der Grundlagenforschung.

Seit Juli 2003 forscht der Kosmochemiker im Rahmen des Emmy Noether-Programms der DFG am Centre de Recherches Pétrographi-

Ionensonde. Diese ermöglicht es, Mikroanalytik von Isotopen und Spurenelementen an kleinsten Meteoritenproben zu betreiben. Gerade aufgrund seiner kosmochemischen Ausrichtung wird das CRPG/CNRS momentan erweitert. Anders sieht es derzeit in Deutschland aus: Die ohnehin schwach institutionalisierte und nur an wenigen Standorten präsen- te Kosmochemie gerät zunehmend in die Bredouille. 2005 stehe die Schließung der Abteilung Kosmochemie des Max-Planck-Instituts in Mainz bevor, und auch die Tage der Kölner Kosmochemie seien gezählt, berichtet der Wissenschaftler. „Das ist ein ziemlicher Schlag für die Meteoritenforschung“.

An der wissenschaftlichen Relevanz des Faches hingegen ändert das nichts. Die Kosmochemie fungiere als ein wichtiger „Motor der Geowissenschaften“, so Andreas Pack, denn „analytische Impulse kamen und kommen aus der Kosmochemie, weil man in der Mineralogie zu wenig Material hat. Die ganzen Altersdatierungsmethoden haben

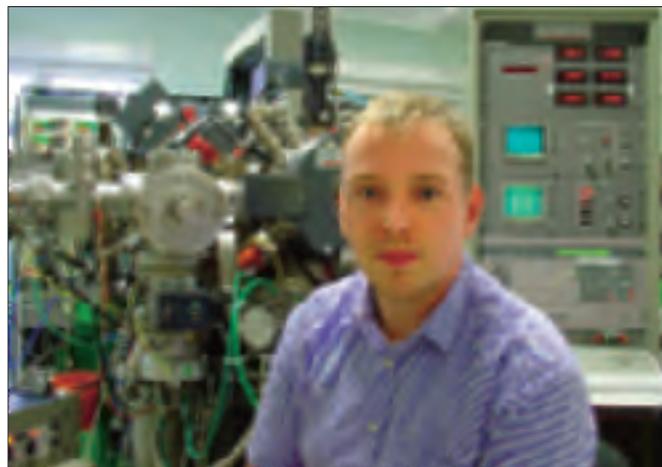
regelrecht einen Quantensprung gemacht, als die ersten Mondproben gekommen sind“.

Auf der letzten Tagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft hat der Emmy Noether-Stipendiat für die Einrichtung einer Projektgruppe „Kosmochemie“ plädiert. Zudem hofft Andreas Pack etwa mit seiner in Kürze an der Universität Erlangen stattfindenden Blockvorlesung selbst einen kleinen Beitrag zu mehr Präsenz des Faches am Wissenschaftsstandort Deutschland leisten zu können. Zumindest in fachlicher Hinsicht scheinen für einen Ausbau der Kosmochemie die Sterne nicht schlecht zu stehen.

Sandra Többe

Vom Ursprung des Sonnensystems

Der Mineraloge und Kosmochemiker Andreas Pack



ques et Géochimiques (CRPG/CNRS) in Nancy. Das Programm sieht seine Aufgabe in der Förderung besonders qualifizierter Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler und möchte bereits früh deren wissenschaftliche Eigenständigkeit unterstützen. Es ermöglicht den Stipendiaten eine zweijährige Forschungstätigkeit im Ausland sowie die anschließende bis zu vierjährige Leitung einer eigenen Nachwuchsgruppe im Inland.

Die Entscheidung für das Institut in Nancy fiel Andreas Pack nicht schwer. Ausschlaggebend war neben einer exzellenten Arbeitsgruppe Kosmochemie die Ausstattung des Instituts mit einer in puncto Messgenauigkeit seltenen

Nicht von dieser Welt

Für die Amish People in Lancaster/Pennsylvania scheint die Uhr stehen geblieben zu sein. Die Nachkommen deutscher Glaubensflüchtlige leben nach althergebrachten Regeln in der modernen Welt



Wer die boomende amerikanische Ostküstenkapitale New York in südwestlicher Richtung verlässt, trifft in Pennsylvania nach einer zweistündigen Autofahrt unerwartet auf eine vollkommen andere Welt: Graue Pferdekutschen mischen sich hier unter den modernen Kraftfahrzeugverkehr, Mauleselteams beackern – gelenkt von archaisch anmutenden, dunkel gekleideten und bärtigen Farmern unter breiten Strohhüten – die fruchtbaren Felder der Region oder schlicht und so gar nicht zeitgemäß gekleidete Frauen und Kinder sind beim Einkauf in den nahe liegenden Geschäften zu beobachten. Die Welt der Amischen Alter

Ordnung oder Old Order Amish fasziniert und beeindruckt auch heute noch aufgrund ihrer offenkundigen kulturellen Andersartigkeit jeden, der mit dieser Kultur in Kontakt kommt. Seit Jahrhunderten beharren sie getreu ihren zentralen biblischen Grundsätzen darauf, zwar „in der Welt, aber nicht von der Welt“ zu sein. So verstehen sie es, ihre Identität trotz einer sich immer schneller entwickelnden Umwelt zu bewahren.

Die religiöse Gruppe der Old Order Amish gehört seit nahezu 300 Jahren zu den stabilsten Glaubensgemeinschaften, die sich aus dem so genannten „radikalen Flügel“ der Reformation entwickelt haben.

Hervorgegangen um 1693 aus einem Zweig des Wiedertäufer­tums, wanderten sie auf Grund religiöser Unduldsamkeit während des 18. und 19. Jahrhunderts in mehreren Emigrationswellen von Europa in die Neue Welt aus und stellen heute mit ihren etwa 180 000 Mitgliedern eine auffällige Erscheinung im amerikanischen Bevölkerungs­mosaik dar. Die bevölkerungsstärksten amischen Siedlungsgebiete liegen in Ohio, Pennsylvania und in Indiana. Lancaster County im Bundesstaat Pennsylvania ist die älteste ununterbrochen von Amischen besiedelte Region der Vereinigten Staaten und gehört zu den größten zusammenhängen-

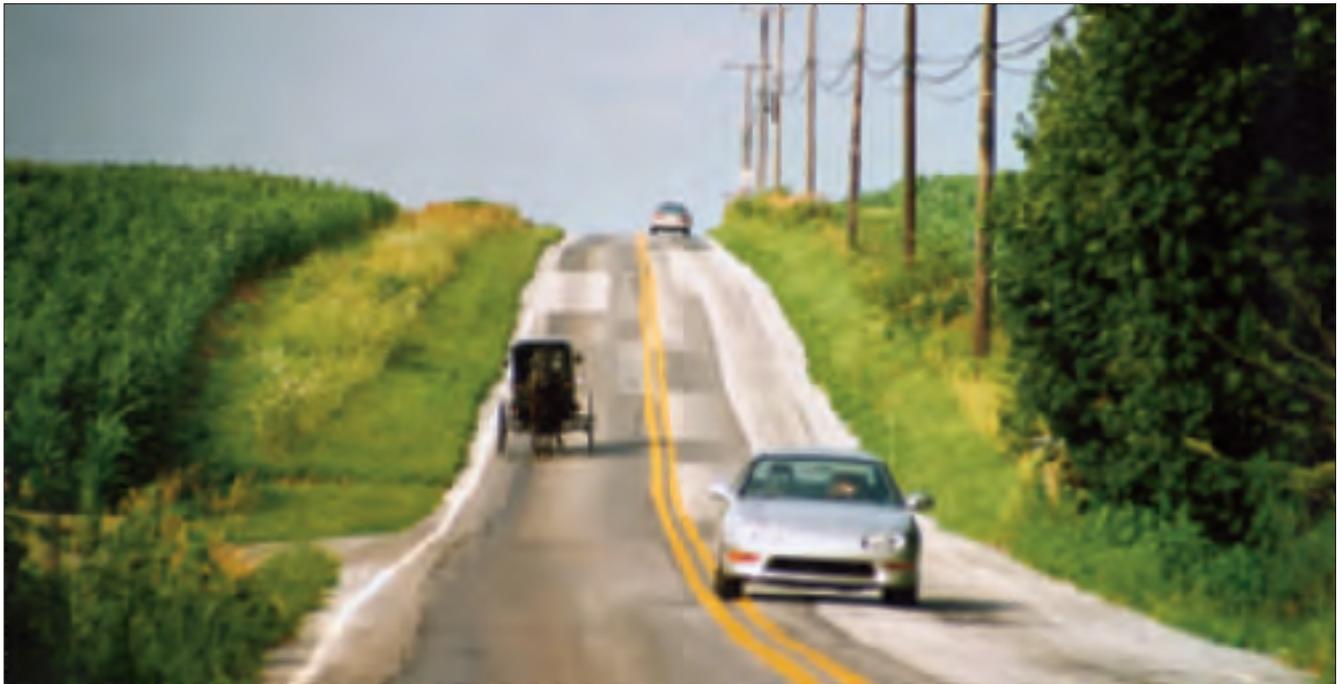


Willkommen bei den Old Order Amish! Gemäß ihrer Überzeugung „Close to the land is close to God“ leben die heute etwa 180 000 Amische ohne Strom, Radio oder Fernsehen auf ihren Höfen. Mit ihrer traditionsgeprägten Kultur und in ihrer Abgeschlossenheit von der Welt sind sie im südöstlichen Pennsylvania zur Touristenattraktion (kleines Bild) geworden.

den amischen Siedlungsgebieten überhaupt. Zu den zentralen religiösen Grundlagen der amischen Gemeinde gehören neben der Bibel das Dordrechter Glaubensbekenntnis von 1632 und die „Amische Ordnung“. Während das Dordrechter Glaubensbekenntnis in 18 Artikeln die nach wie vor grundlegenden

Prinzipien wie Wehrlosigkeit, die Erwachsenentaufe, Abendmahlsfußwaschung, Exkommunikation und Absonderung von der „Welt“ formuliert, beschreibt die „Ordnung“ die aktuelle Ausformung des amischen Glaubens in der modernen Welt. Die Ordnung verfügt, was als „weltlich“ und damit als „nicht-amisch“ zu gelten hat und jedes amische Gemeindemitglied ist aufgefordert, sich von den schädlichen weltlichen Genüssen, Praktiken und Zielen im Interesse des eigenen Seelenheils zu distanzieren.

Ihre Realisierung finden diese Forderungen in Form ausgeprägter sozialer, kultureller und wirtschaftlicher Symbole und Verhaltenswei-



sen. Zu den auffallendsten und umfangreichsten Ausformungen gehören dabei wohl die Bestimmungen zum Einsatz moderner Technik. So sind amische Häuser nicht an das öffentliche Versorgungs- und Stromnetz angeschlossen und verzichten damit auf Telefon, Radio, Fernsehen, elektrisches Licht, strombetriebene Haushalts- und Arbeitsgeräte oder eine Zentralheizung. Darüber hinaus unterhält die Gruppe ihr eigenes Schulsystem mit jahrgangslosen „one-room-schools“, verlangt von ihren Mitgliedern die Einhaltung eines Kleidungskodexes und spricht noch heute ihre eigene Sprache: das „Pennsylvania-German“. Auch im wirtschaftlichen Leben ist die Wirkung der Ordnung deutlich zu erkennen. Traditionell werden von amischen Haushaltsvorständen landwirtschaftliche und handwerkliche Berufe ausgeübt.

Das Leben auf der Farm galt den Amischen seit jeher als Idealberuf, da es den amischen Prinzipien nach bescheidener, einfacher Lebensführung und dem Grundsatz der Abkehr von der Welt diene: „Close to the land is close to God“. In enger Gemeinschaft mit der Familie kann der Kontakt zur umgebenden Gesellschaft eingegrenzt werden. Die heutige

amische Gesellschaft kann jedoch trotz stabiler religiöser Fundamente nicht vollkommen unbeeinflusst von der sie umgebenden amerikanischen Gesellschaft bleiben. So liegt der Kern des amischen Siedlungsgebietes in Pennsylvania – Lancaster County – im direkten Einzugsbereich der atlantischen Megalopolis. Die Urbanisierung des Raumes, ein hohes Touristen- und Verkehrsaufkommen sowie ein allgemeines wirtschaftliches Wachstum belasten das amische Siedlungsgebiet und führen zu ausgeprägter Konkurrenz in der Flächennutzung. Hinzu kommt, dass auch das religiös bedingte ungebremste eigene Bevölkerungswachstum zu hohen Haushaltszahlen und dadurch in einigen Counties schon zu einer Art „amischer Überbevölkerung“ führt. Verstärkend wirkt hierbei, dass die Amischen ausgesprochen familienorientiert oder „clanish“ sind, wie es einmal ein Mitglied der Gruppe ausdrückte. Der enge familiäre Zusammenhalt und die begrenzte Mobilität lassen die Mitglieder der Gruppe bevorzugt in der Nachbarschaft ihrer Familie wohnen, eine Vorliebe, die dazu führt, dass sich in den sowieso schon von Amischen dicht besiedelten Regionen weitere Haushalte bilden, die sowohl für neue Eigenheime als auch für eine



Berufsausübung weiteres Land benötigen. Da die erforderlichen Landflächen aber teuer und rar sind, ist der Erwerb einer Farm aufgrund mangelnden Angebotes meist kaum noch möglich. Ein Resultat dieser Entwicklung ist, dass die außerlandwirtschaftlichen Berufe innerhalb der amischen Gesellschaft eine immer größere Bedeutung gewinnen. Kleine und mittelständische amische Gewerbe haben in den letzten Jahren explosionsartig zugenommen und werden von einer stei-



Pferdefuhrwerke auf modernem Asphalt (linke Seite) gehören in amischen Siedlungsgebieten zum Alltag. So ist bis heute der „buggy“ (unten) das Hauptverkehrsmittel, das auch auf Straßenschildern zu finden ist. Links: Amish People sind bekannt für ihre handwerklichen Fertigkeiten – ein Buchbinder bei der Arbeit.



unwesentlich von elektrischem Gerät unterscheiden, helfen bei der Produktion. Für die dafür benötigte Energie sorgen großvolumige Diesellaggregate. Geräumige, moderne Arbeitshallen und Verkaufsräume, die modernste Sonnenspiegel als Lichtquelle nutzen, stehen nicht-amischen Betrieben in nichts nach. Faxgeräte, elektronische Kassen und Rechner gehören zunehmend zum amischen Standard und sind im geschäftlichen Umgang mit „weltlichen“ Auftraggebern und Kunden unentbehrlich.

Die amischen Bischöfe sehen diese als bedrohlich eingestufte Entwicklung mit Sorge, können ihr jedoch keinen Einhalt gebieten, da bereits die Hälfte aller amischen Haushalte in Lancaster County von einer gewerblichen Wirtschaftsgrundlage abhängig ist. Manche Bischöfe formulieren jedoch recht deutlich den Zusammenhang zwischen einem Farmleben und der Zugehörigkeit zur amischen Gemeinde: „If they get away from the farm they soon get away from the church, at least after the first generation“. Die Zeit geht, vielen Idealisierungen zum Trotz, auch an den Old Order Amish nicht spurlos vorbei. In vielen Bereichen müssen sie sich der umgebenden Gesellschaft annähern und Neuerungen im Interesse des wirtschaftlichen Überlebens einführen. Dennoch gelingt es den Amischen, in ihrer Entwicklung bewusst einen Abstand zu der sie umgebenden hoch technisierten Kultur einzuhalten und damit ihre kulturelle Identität weiterhin zu behaupten.

*PD Dr. Joachim Vossen
Universität Göttingen*

genden Anzahl von Familienvorständen in Anspruch genommen. Von ursprünglich 90 Prozent hat sich der Anteil der Farmer an den Haushalten bis auf unter 50 Prozent reduziert.

Diese Entwicklung bleibt nicht ohne Folgen für die amische Gemeinschaft. Längst produzieren die amischen Betriebe nicht mehr nur für den lokalen oder „amischen Markt“. Die Produktion von Holz- und Metallartikeln, von Lebensmitteln und handwerklichen Dienst-

leistungen versorgt sogar viele Kunden, die weit außerhalb der County- und Bundesstaatsgrenzen leben. Die Kontakte zur nicht-amischen Welt nehmen hierdurch drastisch zu und auch die heranwachsenden Amischen verlieren so den noch auf der Farm aufrechterhaltenen Abstand zur nicht-amischen Welt. Die neuen Berufe stellen darüber hinaus auch neue Anforderungen in Bezug auf die technische Ausstattung der Betriebe. Mit Pressluft betriebene Arbeitsgeräte, die sich nur

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.



Des Kaisers Wasser-

Etwa 25 Kilometer östlich von Rom liegt unterhalb von Tivoli – dem antiken Tibur – die Villa Adriana. Diese Anlage von ursprünglich gewaltigen Dimensionen diente Kaiser Hadrian, der zwischen 117 und 138 nach Christus regierte, als Residenz – mit weitläufig um Säulenhöfe und Gärten gruppierten Wohnräumen, Prunksälen, Säulenhallen und einem Theater. Neben Thermen ist die Villa noch von zahlreichen weiteren wassertechnischen Einrichtungen wie Zierbecken, Brunnen- und Gartenanlagen oder Fischteichen und Latrinen geprägt. Woher aber das Wasser kam, das zum Betrieb dieser bislang nur unvollständig ausgegrabenen Anlagen nötig war, wie es geleitet, gesteuert, genutzt und

Die weitläufige Residenz Kaiser Hadrians beeindruckt noch heute. Wie die Anlage mit Wasser versorgt wurde, ist nicht nur für Archäologen aufschlussreich

schließlich entsorgt wurde, ist bislang völlig ungeklärt. Im Rahmen eines interdisziplinären Projekts gehen Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen aus mehreren Ländern diesen Fragen erstmals nach. Die im Februar 2003 in der berühmten Ruinenstätte durchgeführte Untersuchungskampagne hat neue Ergebnisse ans Licht gebracht: Etwa parallel zur Villa Adriana, die auf einer langgestreckten Erhebung angelegt wurde, verlaufen in nur etwa 1,2 Kilometer Entfernung weit oberhalb des Niveaus

der Kaiserresidenz vier der großen altrömischen Fernwasserleitungen. Sie tragen berühmte Namen: Aqua Anio Vetus, Aqua Marcia, Aqua Claudia und Aqua Anio Novus. Der Gedanke, dass die Villa Adriana aus einem dieser Kanäle mit Wasser versorgt wurde, ist schon früh diskutiert, aber nie weiter verfolgt worden.

Mauerreste, die im Bereich dieser Leitungen gefunden wurden und zu einem Einlaufbecken einer von dort zur Villa Adriana laufenden Druckleitung gehört haben könnten,



Die Villa Adriana bei Tivoli ist berühmt für ihre Thermen, Zierbecken, Brunnen und Teiche. Das so genannte Serapeum für Empfänge des Kaisers (rechts im Hintergrund) wartete mit ausgefeilten hydraulischen Installationen auf. Auch alle Gebäude der Villa Adriana – unten ein Modell – verfügten über Fließwasserinstallationen.

durch die Wand hindurchgeführt worden. Die Freilegung dieser Wand bis zum Fundament ergab außerdem, dass der mit sechzig Zentimetern (zwei Römischen Fuß) ohnehin schon ungewöhnlich dicken Mauer (Wohnhäuser hatten in der Regel eine Mauerstärke von 1 1/2 Römischen Fuß) eine weitere Mauerschale aus dem für die römische Kaiserzeit typischen Netzmauerwerk vorgesetzt war. Diese ist aber fast vollständig abgebrochen. Die ursprüngliche Wandstärke belief sich somit auf insgesamt neunzig Zentimeter (drei Römische Fuß). Auf der gegenüberliegenden Hangseite wurde dieselbe Mauerstärke festgestellt, während die beiden Längswände nicht so tief freigelegt werden konnten, dass eine gesicherte Aussage über ihr ursprüngliches Maß möglich ist.

So gibt es keinen Zweifel daran, dass dieses Bauwerk als Wasserbecken konzipiert und gebaut worden war. Weil an den freigelegten Innenflächen aber keinerlei Spuren von Sinter, das heißt Kalkablage-

Werke

boten einen ersten Untersuchungsansatz. Nach partieller Freilegung erwiesen sich die vorher nur oberirdisch sichtbaren Mauerreste als Teile eines rechteckigen Bauwerkes, dessen lichte Länge und Breite exakt zehn beziehungsweise zwanzig Römische Fuß (ein Fuß sind 29,6 Zentimeter) betragen. Dass es sich ursprünglich um ein Wasserbecken gehandelt haben muss, belegen der Verputz aus wasserfestem Mörtel und die so genannten Viertelstäbe aus demselben Material sowohl in den Gebäudeecken als auch an den Übergängen von den Wänden zur Sohle. Letztere sind Dichtungselemente, die in Wasserbauwerken zum Stand römischer Bautechnik gehörten. Außerdem befindet sich in Sohlennähe der talseitigen Stirn-

mauer ein tropfenförmiger Wanddurchlass von sieben Zentimetern Durchmesser. Er weist im chemischen Test eine eindeutige Verbindung des Mörtels mit Bleionen auf. Offensichtlich war hier ein Bleirohr



rungen, zu erkennen waren, muss vorerst offen bleiben, ob das Bauwerk tatsächlich als Wasserbecken genutzt wurde. In jedem Fall ist es in einer zweiten Phase einer anderen Funktion zugeführt worden, denn innerhalb und außerhalb des Beckens wurden im Aushub dekorierte Putzfragmente gefunden, ebenso auf der zum Teil freigelegten Innenwand der Hangseite. Für eine nachträgliche Funktionsände-



rung sprechen auch zwei großflächige Mauerausbrüche: Ein Ausbruch in der talseitigen Wand könnte darauf hinweisen, dass hier große Bleirohre einer Druckleitung zur Villa Adriana aus dem Becken heraustraten. Andererseits aber hat diese Maueröffnung mit 180 Zentimeter Breite ein „glattes“ Maß von sechs Römischen Fuß (bei einer Gesamtmauerlänge von zehn Römischen Fuß), was eher gegen eine zufällig entstandene Ausbruchsöffnung durch gewaltsames Entfernen von Bleirohren spricht. Eine weitere Maueröffnung in einer Längswand ist sorgfältig mit nahezu lotrechten Wangen aus der Mauer ausgebrochen. Sie weist mit 105 Zentimeter Breite ein typisches Maß für Türdurchbrüche in damaligen Wohnhäusern auf.

Es erscheint also möglich, dass das ursprünglich als Becken konzipierte Bauwerk nach einer derzeit nicht zu bestimmenden Zeit eine andere Funktion hatte, vielleicht als Wohnraum, nachdem es auf der Talseite mit einem Fenster und, gleich um die Ecke in der Längsmauer, mit einer Tür versehen sowie im Inneren dekoriert worden war.

In geringer Entfernung zur Hangwand verläuft oberhalb im Gelände ein Mauerzug, der sich als Gewölbe

der Fernwasserleitung Aqua Marcia erwies. Im Bereich zwischen dem Becken und dieser Wasserleitung kam im Verlauf der Untersuchungen eine weitgehend zerstörte, aber noch eindeutig identifizierbare Sohle eines kleinen Kanals zum Vorschein, dessen Seitenwangen nur noch ansatzweise erkennbar sind. Diese Kanalsohle läuft auf die Nordostecke des Beckens zu. Weil die Beckenmauer selbst ab dieser Höhe zerstört ist, kann nicht eindeutig entschieden werden, ob der Kanal in das Becken einmündete oder ob er bei dessen Bau von der Wand geschnitten und damit funktionslos wurde.

Unmittelbar vor der Aqua Marcia ist dieser Kanal restlos zerstört. Hier wurden unter einer mit Erdreich und Schutt gefüllten Mulde Mauerreste freigelegt, die zu einem kleinen Bassin gehört haben könnten. Eine genauere Untersuchung enthüllte, dass dieser kleine Kanal einen tiefer liegenden Vorgänger hatte, der einen noch kleineren Querschnitt aufweist, fast vollständig versintert ist und das Fundament der höher liegenden Rinne bildet. Wegen der Überdeckung durch den jüngeren Kanal konnte sein Verlauf nicht weiter verfolgt werden. Es wurde aber deutlich, dass er weder beim Bau

Wie wurden die Großen Thermen (oben) und die übrigen Brunnen- und Teichanlagen mit Wasser gespeist? Das Wasserleitungssystem der Villa Adriana war komplex und wirft viele Fragen auf. Rechts: Ein Querschnitt durch zwei Ableitungskanäle zeigt oben den jüngeren, unten den älteren mit einem kleineren Durchmesser. Ausgrabungen bringen eine Auslassöffnung mit einem Becken zur Abbremsung des Fließwassers zum Vorschein.

des jüngeren Kanals noch beim Bau des Beckens weiter in Betrieb gewesen sein kann. Römische Kanäle waren meist zu Wartungszwecken begehbar, aber der Wasserspiegel in ihnen lag vergleichsweise niedrig. An einer zugänglichen Stelle der Aqua Marcia oberhalb des Untersuchungsbereiches zeigte sich, dass die in diesem Abschnitt mannshohe Leitung vollständig versintert ist, möglicherweise aufgrund künstlicher Maßnahmen. Der Grund dafür wurde bald sichtbar: Sehr hoch im Gewölbe der talseitigen Wange der Aqua Marcia gibt es eine jetzt dreieckige Öffnung, die in der Tiefe vollständig versintert ist. Auch die Außenseite des Mauerwerks, sogar oberhalb der Öffnung, ist mit einer Sinterschicht bedeckt. Offensichtlich stand das Wasser im Kanal unter Druck und floss zuerst mit größerer Geschwindigkeit

durch die Öffnung in das erwähnte Bassin, bevor es dann durch einen – in der ersten Phase tiefer liegenden kleineren, in der zweiten Phase höher liegenden größeren – Kanal weitergeleitet wurde.

Nach eingehender Untersuchung der Sinterschicht auf dem Mauerwerk und in der Öffnung zeigte sich, dass ursprünglich eine rechteckige Öffnung von 30 auf 45 Zentimeter Größe regulär in das Mauerwerk eingefügt war, die durch die Sinterbildung eine dreieckige Form angenommen hat. Die glatte Umrechenbarkeit dieser Maße in ein beziehungsweise eineinhalb Römische Fuß deutet darauf hin, dass es sich hier nicht um einen der berüchtigten, schon von dem römischen Fachschriftsteller Frontin (etwa 30 bis 100 nach Christus) mehrfach beklagten Fälle von Wasserdiebstahl



durch Anzapfen einer Leitung handelt. Stattdessen geht es um eine geplante Ableitung, bei der anscheinend durch künstliche Maßnahmen im Inneren der Aqua Marcia ein möglichst hoher Druck angestrebt worden war. Eine erste Abschätzung ergab, dass hier bis zu etwa einhundert Liter Wasser pro Sekunde entnommen worden sein dürften.

Handelt es sich bei dieser Ableitung um den gesuchten Abzweig der Villa Adriana? Ist das gefundene Becken das Einlaufbecken einer hier beginnenden Druckleitung, die

das Wasser mit einem oder mehreren Bleirohren auf den gegenüberliegenden Hang der Residenz führte? Reichte die Wassermenge zur Versorgung der vielen hydrotechnischen Einrichtungen dort aus?

Auf der Basis des derzeitigen Wissens ist keine dieser Fragen eindeutig zu beantworten. Gesichert erscheint nur, dass es hier eine planmäßige, wassertechnisch gut durchdachte Ableitung aus der Aqua Marcia gegeben hat. Aber schon mit den Ableitungskanälen wird die Situation kompliziert: Es muss in einer ersten Phase einen recht kleinen Kanal gegeben haben, der etwas weiter nach Südwesten ausgerichtet war als der auf ihm aufsitzende neuere Kanal (zweite Phase), der eher nach Westen zielte. Wenn der Kanal der zweiten Phase in das Becken einmündende



te, gehört dieses Becken ebenfalls zur zweiten Phase. Seine andersartige Nutzung nach dem Umbau wäre in diesem Fall als eine dritte Phase anzusehen. Dann dürfte hier aber kein Wasser mehr aus der Aqua Marcia entnommen worden sein. Dagegen spricht, dass die Auslassöffnung nicht mit Mauerwerk, sondern durch Sinterablagerungen aus dem Wasser verschlossen ist.

Wenn das Becken aber als völliger Neubau anzusehen ist, der die beiden älteren Ableitungskanäle

geschnitten und zerstört hat (dritte Phase), dann müsste es auch in der Weiterleitung vom erwähnten Bassin an der Aqua Marcia zum neuen Einlaufbecken der Druckleitung eine dritte Entwicklungsstufe gegeben haben, von der jedoch nichts mehr zu erkennen ist. Der Umbau des Beckens müsste dann als Beginn einer vierten Phase definiert werden. Noch ist offen, ob die hier sichtbar werdenden Phasen der Bauwerke an der Wasserentnahmestelle mit der baulichen Entwicklung der hydrotechnischen Anlagen der Villa Adriana in einen logischen Zusammenhang gebracht werden können.

Auch die Frage, ob die hier zu entnehmende Wassermenge den Bedarf der Villa Adriana gedeckt haben kann, ist derzeit nicht zu beantworten. Der geschätzte Durchfluss entspricht beispielsweise in etwa dem Vierfachen der Wassermenge, die die etwa 10 000 Einwohner Pompejis in der Kaiserzeit durch ihre Fernleitung bekamen. Zudem handelt es sich beim Wasser der Aqua Marcia nach Einschätzung des zeitgenössischen römischen Autors Frontin um Wasser der höchsten Qualität. Außerdem gibt es wohl keinen Abnehmer in der näheren Umgebung, dem der Kaiser eine derart große Menge davon zugestanden haben dürfte. Andererseits aber ist völlig unklar, wie viel Wasser in der Villa Adriana gebraucht wurde, ob es hier genügend Speicherraum in Reservoiren gab oder ob das Wasser in der am Hang liegenden Anlage zwischengespeichert und dadurch mehrfach genutzt werden konnte. Bei der Vielzahl und Größe der hydrotechnischen Einrichtungen mag die Wassermenge dieser Ableitung vielleicht doch eher gering erscheinen, könnte aber zusammen mit dem Wasser, das möglicherweise aus anderen Aquädukten herangeführt wurde, ausgereicht haben.

*Prof. Dr.-Ing. Henning Fahlbusch
Dr. Christoph Ohlig
Fachhochschule Lübeck*

Das Projekt wird von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Interview mit einer Honigbiene

Waben unterstützen den Informationsaustausch eines Bienenvolks. Im dunklen Bienenstock werden Vibrationssignale ausgesendet und empfangen. So entsteht eine Kommunikation, die einem modernen „Telefonnetz“ Pate stehen könnte

Honigbienen verbringen den Großteil ihres Lebens auf ihren Waben. Diese Waben dienen als Speicher für Nahrung und als Raum zur Nachwuchsaufzucht. Aber sie spielen auch eine große Rolle im Informationsfluss in einer Bienenkolonie, die lange Zeit unterschätzt wurde.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde das Thema „Nestmaterialien als Träger von Kommunikationssignalen bei sozialen Bienen“ aufgegriffen. Dabei wurde untersucht, welche physikalisch-chemischen Eigenschaften der Waben im Rahmen ihrer Kommunikation interessant sind und welche Aspekte des Nestbaus und des Kommunikationsverhaltens unter diesem Blickwinkel wichtig sind.

Ein paar einfache Tatsachen bieten die Voraussetzungen dafür, dass dem Wachsneist im Laufe der Evolution auch eine Rolle im Informationsfluss zukommen konnte: Der Großteil des Lebens einer Biene spielt sich im Inneren des Nestes ab. Bei Sommerbienen sind dies drei von vier Wochen des Erwachsenenlebens, bei Winterbienen vier Monate, bei der Königin so gut wie zeitlebens ihrer mehrjährigen Existenz. Das ergibt die Chance und Notwendigkeit, mit Nestgenossinnen auf engstem Raum Botschaften auszutauschen. Honigbienen besitzen die vollständige Kontrolle über das Nest. Sie synthetisieren den Baustoff Wachs und sind ihre eigenen Baumeister.

Das Wachs ist ein genialer Baustoff und wird gebildet von vier Drüsenpaaren, die sich auf der Bauch-

seite des Hinterleibs befinden. Die chemische Zusammensetzung und die Struktur der Wachskristalle lassen sich mittels Gaschromatographie, Massenspektroskopie und Röntgenstrukturanalyse untersuchen. Dabei hat sich gezeigt, dass das Bienenwachs einem rasch ablaufenden Alterungsprozess unterworfen ist. So verschiebt sich das Mischungsverhältnis der Hauptkomponenten des Wachses kontinuierlich. Das hat zur Folge, dass ein chemisch „bunter Flickentep-



Hausbau im Bienenland: Mit vier Drüsenpaaren, die sich auf der Bauchseite ihres Hinterleibs befinden, produzieren Bienen Wachsplättchen. Die daraus erbauten Waben dienen nicht nur als Speicher für Nahrung und als Raum für den Nachwuchs, sondern sind für die Kommunikation einer Bienenkolonie unverzichtbar.



pich“ entsteht, da die einzelnen Waben in einem Bienenvolk bedarfsbedingt zu unterschiedlichen Zeiten angelegt werden. Genau diese Tatsache kann von den Bienen zur Orientierung im dunklen Stock genutzt werden.

Berührt man eine Antenne der Biene mit einem Tropfen Zuckerwasser, streckt die Biene reflexartig ihre „Zunge“ heraus. Paart man den Zuckerwasserreiz mit einem anderen, zunächst neutralen Stimulus, kommt es zu einer Verknüpfung der beiden Reize. Das Resultat ist, dass nach einigen Trainings-

durchgängen der zunächst neutrale Reiz allein ausreicht, um die Zungenstreck-Reaktion auszulösen. Man gewinnt auf diese Weise ein Verhaltenswerkzeug, das als „Bienen-Interview“ dienen kann.

Befragt man die Bienen jetzt in dem einfachen Verhaltensversuch danach, wie gut sie Wachse unterscheiden können, erlebt man Verblüffendes: Mit einer Genauigkeit, die durchaus mit technischen Apparaturen wie der Gaschromatographie Schritt halten kann, nehmen sie Unterschiede in den Wachsen wahr und können die Altersstufen

der Wachse erkennen. Dabei nutzen sie nicht alle im Wachs vorkommenden Bestandteile in gleicher Weise, sondern reagieren auf bestimmte Stoffgruppen besonders empfindlich. Dies sollte ihnen die Möglichkeit geben, jederzeit ihren Aufenthaltsort im dunklen Bienenstock zu bestimmen, zumindest aber die Wabe zu identifizieren, auf der sie sich gerade befinden.

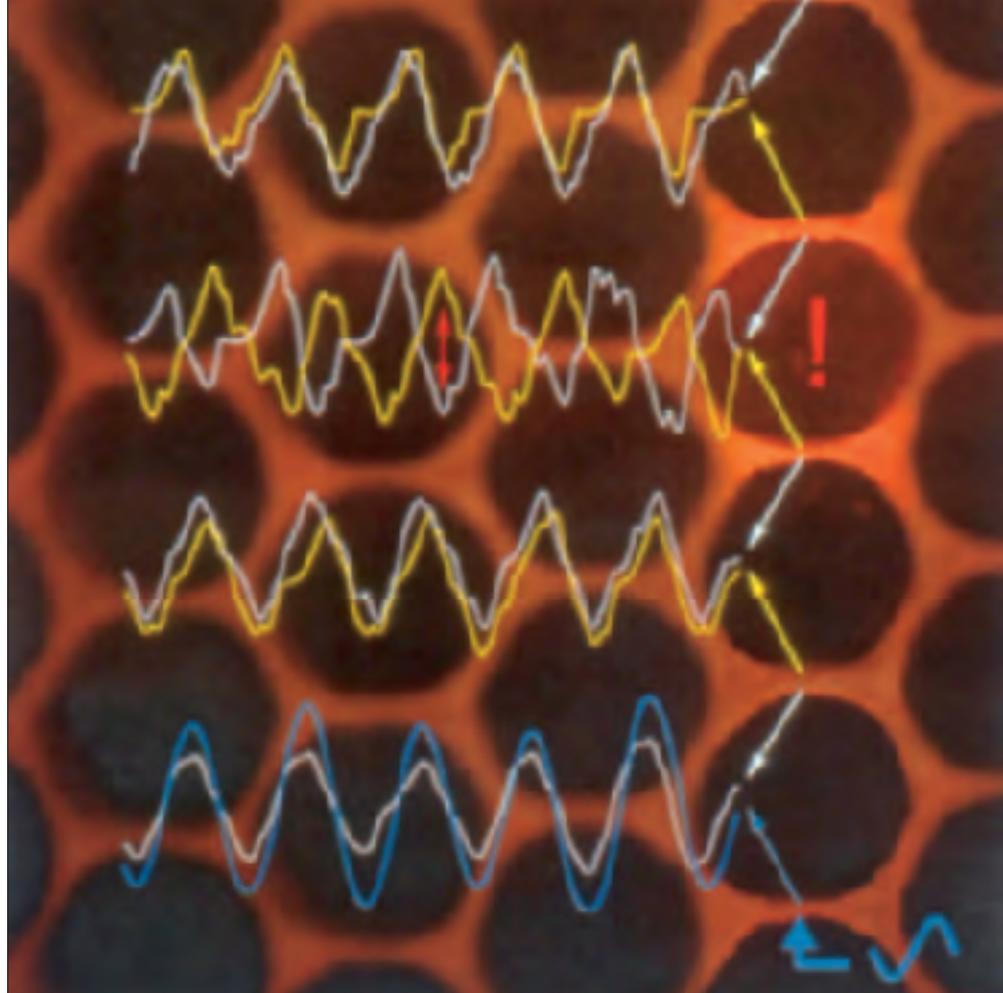
Ein besonderer Ort im Bienenstock ist der Tanzboden. Er beträgt von etwa fünf Quadratmetern Gesamtfläche nur etwa 100 Quadratzentimeter. Hier treffen sich die



Sammelbienen zum Austausch der Botschaften über neu entdeckte Futterquellen. Verlagert man den Tanzboden im Stock, löst das ein Suchverhalten der Tänzerinnen aus. Es ist zu vermuten, dass auch das Auffinden des Tanzbodens im dunklen Stock seine Grundlage in einer chemischen Markierung hat. Neben dem selbst-synthetisierten Wachs verwenden die Bienen als fremden Baustoff Pflanzenharze, das so genannte Propolis. Struktur-analytische Untersuchungen haben ergeben, dass das Propolis nicht nur großflächig in Form von Klumpen zur Abdichtung von „zugigen“ Stellen im Nest eingesetzt wird, sondern auch mikroskopisch fein in die hauchdünnen Wände eingebaut und aufgelagert wird. Dieser Einsatz dient vermutlich der Platzierung antibakterieller Substanzen im Bienennest, aber auch der Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Wabe.

Diese mechanischen Eigenschaften sind wichtig für die Rolle, die die Waben bei der Weiterleitung von Vibrationssignalen spielen. Im dunklen Nest kommt mechanischen Signalen, die über die Distanz fortgeleitet werden, eine besondere Bedeutung zu. Großräumige Alarmierung der Kolonie oder „intime“ Tanzkommunikation basieren auch auf Schwingungen der Waben. Messungen mit empfindlichen Vibrationsmessgeräten haben gezeigt, dass eine Bienenwabe hochkomplexe mechanische Eigenschaften besitzt. Sie ist ein Kommunikationsnetz im wahren Sinne des Wortes. Betrachtet man eine aus leeren Zellen aufgebaute Wabe (oder einen Wabenbereich), so fällt auf, dass die oberen Ränder der Zellwände verdickt sind. Dabei erreichen die Wülste Durchmesser bis zu 0,5 Millimeter im Gegensatz zu den Wänden der Zellen, die nur etwa 7/100 Millimeter dünn sind. Diese Verdickungen sind die „Laufstege“ für die Bienen. Man kann die Verdickungen einer Wabe in ihrer Gesamtheit als ein Netz betrachten, das aus sechseckigen Maschen aufgebaut ist. Über dieses Netz laufen mechanische

28



störungen der Maschen parallel zur Wabenoberfläche ausgebreitet werden. Solche Störungen werden während der Schwänzelpause von der Flugmuskulatur der Tänzerinnen erzeugt. Dabei halten sie sich mit ihren Beinen an den Rändern der Zellen fest.

Bei abgekoppelten Flügeln vibriert die Brust der Biene mit etwa 260 Hertz. Für die Rolle der Schwänzelpause, die nur etwa 15 Hertz Schwingung erzeugt, vermuten wir einen mechanischen „Trick“, mit dem die Ankopplung der Biene an die Wabe verstärkt wird und somit die 260 Hertz-Welle effektiv eingekoppelt wird.

Schickt man in einem physikalischen Experiment künstlich erzeugte Schwingungen durch eine Wabe, so lässt sich messen, welche Frequenzen gut und welche schlecht ausgebreitet werden. Es zeigt sich, dass Schwingungen über die gesamte Wabenbreite laufen können, selbst wenn die hineingesteckte Anregungskraft nur einen Bruchteil der Kraft einer Honigbiene beträgt. Für bestimmte Frequen-



zen ergeben sich nach einer gewissen Laufstrecke größere Schwingungsweiten am Ausgang der Übertragungstrecke. Herausgehoben taucht mit etwa 260 Hertz eine Frequenz auf, die besonders gut weitergeleitet wird. Es ist höchst bemerkenswert, dass dies genau die Frequenz ist, die eine Tänzerin im Schwänzeltanz in Form von Pulsgruppen erzeugt.

Die imkerliche Praxis, Waben mit einem Holzrahmen zu umgeben, unterbindet die Ausbreitung jeglicher Schwingungen. Da ein solches Vorgehen zur Grundlage der



Kommunikationsmedium Wabe: Schwingungen, die beim Schwänzeltanz entstehen, werden durch die gesamte Wabe getragen. Bei deren Weiterleitung verändern sich die Schwingungsmuster (oben links), wobei die wechselnden Frequenzen den Bienen als Wegweiser dienen. Von einer Art Netz auf den Waben, das aus Wachswülsten besteht, werden die einzelnen Informationsimpulse weitergegeben. So können Informationen die einzelne Honigbiene erreichen, bevor die Schwänzeltänzerin im Bienenvolk wieder mit ihrem Tanz beginnt.

fen, einer sammelmotivierten Biene die Anwesenheit einer Tänzerin zu verraten.

Staaten bildende Insekten verfügen zur Koordination ihrer Aktivitäten über Kommunikationsmechanismen von einer Komplexität, die in der gesamten übrigen Welt der wirbellosen Tiere sowie für den Großteil der Wirbeltiere unerreichbar ist. Soziale Insekten sind daher hervorragende Studienobjekte, wenn es um Fragen der Mechanismen und der Evolution von differenzierten, inhaltsreichen Signalen geht. Im Rahmen der Verhaltensbiologie erfordert die Untersuchung von Biokommunikation einen methodisch extrem breiten Ansatz. Die quantitative Erfassung der produzierten Signale und ihrer Ausbreitung ist dabei mehr als andere Facetten der Biokommunikationsforschung vom Stand der verfügbaren physikalischen und chemischen Messmethoden und -systeme abhängig. Der Einsatz solcher zeitgemäßen Methoden hat gezeigt, wie hervorragend die Honigbienen im Laufe ihrer Evolution die wächsernen Waben, die Vibrationssignale und die Weiterleitung solcher Signale über die Waben aufeinander abgestimmt haben. Das Wachsnetz der Bienen hat sich auf diesem Wege als „chemisches Gedächtnis“ und als „Telefonnetz“ erwiesen.

*Prof. Dr. Jürgen Tautz,
Prof. Dr. Markus Riederer
Biozentrum Universität Würzburg*



wirtschaftlichen Nutzung von Honigbienen gehört, zerstört der Imker somit unbeabsichtigt die Kommunikationsmöglichkeiten der Bienen mit Hilfe ihres „Telefonnetzes“. Erstaunlich ist es aber zu beobachten, wie die Bienen auf diesen Eingriff reagieren. Sie bleiben nicht „sprachlos“, sondern nagen mehr oder weniger ausgedehnte Lücken zwischen Wabe und Holzrahmen. Solche Lücken stellen die volle Übertragungsfähigkeit der Wabe für vibratorische Reize wieder her.

Die gleichzeitige Aktivität tausender Bienen auf derselben Wabe erzeugt einen ständigen Rauschpegel, vor dem die Bienen die schwachen Signale erkennen müssen. Es ist erkennbar, dass den sechsbeinigen Bienen eine unerwartete mechanische Eigenschaft der Wabe helfen kann: Nutzt man zwei spezielle Vibrationsmessgeräte und misst die Schwingungen der Zellränder an wenigstens zwei Stellen gleichzeitig, was die Bienen mit sechs Stellen schaffen, ergibt sich ein klares geometrisches Muster. Dieses Muster kann offenbar hel-

Das Projekt wurde im Normalverfahren und im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs gefördert.



Das Watt ist nur auf den ersten Blick lebensfeindlich. Bei der Erforschung dieses Lebensraumes kann eine neue Messstation helfen. Untergebracht in einem Arbeitscontainer sind Messgeräte und Installationen zur direkten Daten-Übertragung an Land.

Von Schlickwatt, Mischwatt und Sandwatt

Ausgedehnte Wattflächen sind das Ergebnis der Gezeiten in verschiedenen Klimazonen der Erde. Am Beispiel der südlichen Nordsee untersuchen Wissenschaftler, wie ökologische Prozesse im bedrohten „Lebensraum Wattenmeer“ ablaufen



Die Gezeiten. Diesem raschen Wechsel der Umweltbedingungen, zu denen als Folge auch die Änderungen in der direkten Sonneneinstrahlung und im Salzgehalt zählen, könnten voreilig als lebensfeindlich angesehen werden. Tatsächlich jedoch ist die biologische Aktivität gerade im Ökosystem Watt besonders hoch.

Wattsysteme sind ein wichtiger Bestandteil gezeitenbeeinflusster Küsten in unterschiedlichen Klimazonen und mit unterschiedlichen Strömungsbedingungen. Sie gehören zu den produktivsten natürlichen Ökosystemen der Erde und spielen im globalen bio- und geochemischen Haushalt eine wichtige Rolle. Die Watten sind nicht nur Lebensgrundlage zahlreicher Vogelarten, sondern auch Kinderstube für viele Organismen des Meeres. Da während der Flut Sedimente in Küstennähe absinken, bieten die Watten den Küsten einen wichtigen Schutz vor Erosion durch das Meer.

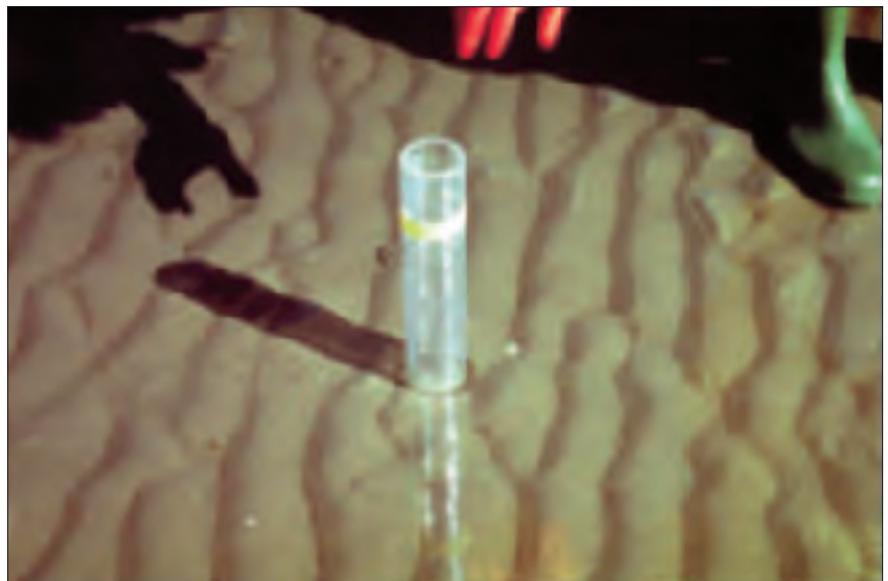
Auf der ganzen Welt konzentriert sich in Küstenzonen schon seit vielen Jahrhunderten ein Großteil menschlicher Aktivität. Es wird angenommen, dass im Jahr 2025 etwa 75 Prozent der Weltbevölkerung (statt heute 50 Prozent) im Küstenbereich angesiedelt sind. Der Bedarf für die Nutzung dieses Raumes wird daher zunehmen. Das betrifft sowohl industriell verwertbare Naturstoffe aus Meeresorganismen und die marine Biotechnologie als auch die Gewinnung erneuerbarer Energie durch küstennahe Windkraftanlagen. Dabei besteht die Gefahr, dass Ressourcen in einer Weise ausgebeutet werden, die Ökosysteme unwiederbringlich zerstört. Deshalb sind Kenntnisse über ökologische Prozesse und die daraus abgeleitete ökologische Gesundheit der Watten für die Küstenbewohner von erheblicher Bedeutung. Die schützenswerten Besonderheiten des Ökosystems Watt haben dazu geführt, dass weite Bereiche zum Nationalpark erklärt wurden und die Nutzung durch Fischerei und Tourismus eingeschränkt ist. Politische Bestrebungen gehen dahin, das Wattenmeer in der südlichen Nordsee zum Welt-naturerbe zu erheben.

Das flache Relief der Nordsee und die ausgeprägten Gezeiten führen zu ausgedehnten Wattflächen entlang der Nordseeküsten. Mit dem so genannten Tidenhub steigt das Wasser zwischen Niedrigwasser und dem Höhepunkt der Flut in der östlichen Nordsee etwa um ein bis drei Meter. Der Lebensraum Wattenmeer umfasst die oberhalb der mittleren Hochwasserlinie gelegenen Salzwiesen, Dünen und Strände, das bei Niedrigwasser trocken fallende Watt im eigentlichen Sinn, und die ständig vom Wasser bedeckten Priele und Tiefs, die sich wie Kanäle durch die Wattenlandschaft ziehen.

Eines der größten zusammenhängenden Gezeitengebiete der

etwa 18 000 Jahren lag die Küstenlinie weit draußen in der Nordsee. Erst mit dem Abschmelzen der kontinentalen Eismassen erreichte die Nordsee vor etwa 9 000 Jahren wieder das heutige Küstengebiet und gestaltete durch den steigenden, vorübergehend auch wieder absinkenden Meeresspiegel die Land-Ozean-Grenze. Erst im Mittelalter begann der Mensch, die Küstenlinie durch den Deichbau festzulegen.

Innerhalb des Wattenmeeres unterscheidet man aufgrund der Sedimentbeschaffenheit zwischen Schlickwatten, Mischwatten und Sandwatten. Sie bieten unterschiedliche Lebensräume für die Organismen, die im Wattboden



Erde erstreckt sich entlang der Nordseeküste vom dänischen Blåvands Huk (Jütland) im Norden über die Küsten Schleswig-Holsteins und Niedersachsens bis nach Den Helder in den Niederlanden. Besonders prägend sind die vor einigen tausend Jahren durch Sandtransport entstandenen Barriereinseln vor den Küsten Niedersachsens und Nordhollands, während es sich bei den Inseln vor der Küste Schleswig-Holsteins vorwiegend um Überreste ehemaliger Landmassen handelt, die bei Sturmfluten nicht mit untergegangen sind. Geologisch sind die Inseln mit den dahinter liegenden Watten junge Gebilde. Bei der letzten Eiszeit vor

Die Oberfläche des sandigen Watts hat eine einprägsame Struktur. Oben: Um neue Daten zu gewinnen, müssen Bohrungen durchgeführt werden. Dabei werden Sedimentkerne von bis zu sechs Metern Länge gewonnen. Mit einem Flachbodenschiff, das sich auf der Wattfläche „trocken fallen“ lassen kann, erreichen die Forscher ihr Studiengebiet und stecken dort das zu untersuchende Areal ab.

leben. Durch Wechselwirkungen zwischen den Organismen entstehen komplexe biologische Strukturen. In den einzelnen Regionen des Wattenmeeres dominieren bestimmte Lebensformen, zum Beispiel der Wattwurm mit seinen typischen geringelten Kothaufen, aus-



gedehnte Rasen des Bäumchenröhrenwurms oder Miesmuschelbänke. Neben den etwa 60 Tierarten mit Größen von wenigen Millimetern bis Zentimetern ist die zwischen den Sandkörnern des Wattbodens lebende noch kleinere Fauna mit mehreren hundert Arten ein wichtiger Bestandteil der biologischen Vielfalt. Das Nahrungsnetz baut im Wesentlichen auf den am Boden und in der Wassersäule lebenden Mikroalgen auf. Neben den umfangreichen „Fraßbeziehungen“ innerhalb der Fauna am Wattboden erstrecken sich die Wechselwirkungen der Organismen untereinander auch auf die höheren Ebenen des Nahrungsnetzes. So nutzen viele Jungfische und Garnelen das reichliche Nahrungsangebot im Watt. Sie bieten wiederum den riesigen Schwärmen von Zugvögeln, die zweimal jährlich das Wattenmeer auf ihrem Flug zwischen arktischen Brutgebieten und tropischen Überwinterungsquartieren aufsuchen, Nahrung.

Die dynamischen Prozesse, die die Watten gebildet und anschließend verändert haben, sind außerordentlich komplex. Eine noch ungeklärte Frage ist die nach dem Sedimenthaushalt. Da mit dem Deichbau die ruhigen Auslaufzonen für das Wasser verloren gingen, wird vermutet, dass die Sedimente im Watt an feinkörnigem Material verarmen. Denn der Schlick wird in der Schwebelage gehalten und kann sich nicht absetzen. Schiffsgestützte Messungen haben dies bisher nicht bestätigen können. Mathematische Modelle zeigen jedoch, dass ab Windstärke acht, wenn die Küstenschiffen nicht mehr einsetzbar sind, Sedimente aus dem Watt ins Meer verloren gehen.

Auch der Effekt von Eiswintern, in denen Eisschollen auf der Sedimentoberfläche anfrieren und diese Schicht mit dem Tidenstrom möglicherweise in die offene Nordsee tragen, ist noch nicht hinreichend geklärt. Durch die Errichtung einer Dauermessstation zwischen den Inseln Spiekeroog und Langeoog im August 2002 sind nun Untersuchungen zum Schwebstofftransport in der Wassersäule auch bei extremen

Wetterlagen möglich. Längerfristige natürliche Veränderungen im Sedimenthaushalt werden sich auch auf das Ökosystem auswirken, weil sich die Ansiedlungsbedingungen am Meeresboden verändern werden. Für Schutzmaßnahmen ist es wichtig, die Spätfolgen des Deichbaus von den Einflüssen eines langfristigen, klimatisch bedingten Meeresspiegelanstiegs und von den Auswirkungen menschlichen Handelns unterscheiden zu können.

Für die Rolle der Mikroorganismen im Stoffhaushalt der Wassersäule und in Sedimenten beginnt sich der Blick gerade erst zu schärfen. Neben den Filterern, wie etwa den Muscheln, sind Mikroorganismen das Klärwerk des Watts, das die Überreste des abgestorbenen Planktons und anderer Lebewesen wieder abbaut und die Produkte in den Nährstoffkreislauf zurückführt. Die Bakterien erledigen diese Arbeit vorwiegend in der Wassersäule und den obersten, oft nur wenige

In der Nordsee, vor der Südwestspitze Spiekeroogs, wurde eine Dauermessstation errichtet. Auf einem mächtigen 40 Meter langen Rohr, das zu einem Drittel im Watt-Sediment steckt, thront die signalgelbe Arbeitsstation. Sie wird per Boot mit Messgeräten und Zubehör versorgt.

Millimeter mächtigen Sedimentschichten, die noch Sauerstoff enthalten. Sie sorgen dafür, dass sich die darunter liegende sauerstofffreie Zone nicht bis an die Oberfläche ausdehnt, das Watt „umkippt“ und die so genannten „schwarzen Flecken“ an der Oberfläche entstehen. Während diese schwarzen Flecken in kleinem Maßstab unproblematisch sind, führte eine Verkettung von natürlichen Umständen nach dem Eiswinter 1995/96 dazu, dass sich ausgedehnte schwarze Flächen bildeten und Muscheln und Würmer wegen des Sauerstoffmangels in großer Zahl starben. Aber auch von diesem Ereignis erholte sich das Watt durch seine immensen Selbstheilungskräfte bereits im darauf folgenden Sommer.

Noch völlig unklar ist die Rolle der Bakterien, die in der sauerstofffreien Zone der Sedimente unterhalb der Oberflächenschicht leben. Es handelt sich vielfach um noch unbekannte, schwer kultivierbare Organismen mit nicht erforschten physiologischen Eigenschaften. Es

ist nicht klar, ob sie sich von den schwer abbaubaren Resten des organischen Materials ernähren, das die Bakterien in der Oberflächenschicht übrig lassen, oder ob sie durch das Porenwasser der Sedimente mit leichter verwertbaren Nährstoffen versorgt werden. Möglicherweise handelt es sich um Verwandte von Bakterien, die bis in mehr als tausend Metern Sedimenttiefe unter dem Boden der Ozeane

unter ähnlich unwirtlichen Bedingungen leben.

Die Vielfalt der Erscheinungsformen der Wattsysteme erschwert das Erkennen von Grundprinzipien, nach denen

Die Vielfalt der Erscheinungsformen erschwert das Erkennen von Grundprinzipien

die Watten auf äußere Veränderung reagieren: zum Beispiel das Wetter im Jahresverlauf, Änderungen im Stand des Meeresspiegels oder auch Sauerstoffmangel. Um ein neues Verständnis für die in einem Wattsystem ablaufenden Prozesse zu gewinnen, soll eine Bilanz für den Stoffhaushalt am Beispiel des Rückseitenwatts der ostfriesischen Nordseeinsel Spiekeroog erstellt werden. Untersucht werden dabei die Wasserströmungen und die Beschaffenheit, die Hydrodynamik und Morphologie des Watts sowie die biogeochemischen Prozesse an Partikeln in der Wassersäule, an der Sediment-Wasser-Grenze und in den Wattsedimenten mit einer Vielzahl moderner Analysemethoden. Parallel dazu werden mathematische Modelle für zahlreiche Teilprozesse im Wattsystem entwickelt. Sie bilden die Basis für ein integratives mathematisches Modell, mit dem das Watt in seiner Gesamtheit beschrieben und in seiner Entwicklung verfolgt werden kann. Es soll nach einer entsprechenden Verallgemeinerung auch auf Wattsysteme in anderen Erdteilen anwendbar sein.

*Prof. Dr. Jürgen Rullkötter
Universität Oldenburg*

Die Untersuchungen werden von der DFG im Rahmen der Forschergruppe „BioGeoChemie des Watts“ gefördert. Weitere Informationen: www.icbm.de/watt.



Wenn Dr. Ulrike Zeshan ihre Zeige- und Mittelfinger mehrfach krümmt und gleichzeitig ihre Hände nach unten bewegt, macht sie nicht etwa Fingergymnastik, sondern verständigt sich in der Sprache der Hände: der Gebärdensprache. Die Gebärde für den Begriff „Forschung“ macht das Tiefschürfende dieser Tätigkeit anschaulich. Doch wenn sich die junge Sprachwissenschaftlerin mit ihrem Spitznamen „Europäerin mit indischen Kleidern“ vorstellt, wird die Sache schwierig. Einprägsam ist nur die Gebärde für ihre Nationalität: Mit ihrer auf dem Kopf liegenden Faust, den Zeigefinger hoch gestreckt, signalisiert die 34-Jährige, dass sie aus Deutschland stammt. In der deutschen Gebärdensprache symbolisiert der in die Luft weisende Zeigefinger die preußische Pickelhaube. „Aber in der indischen oder chinesischen sieht das Zeichen ganz anders aus“, sagt die hörende Linguistin (rechts im Bild) schwungvoll, ein verschmitztes Lächeln im Gesicht, und fügt gleich hinzu: „Weltweit werden schließlich mehrere hundert Gebärdensprachen gesprochen, die genaue Zahl ist noch unbekannt; es gibt auch regionale und lokale Dialekte.“

Gebärdensprachen treiben die Emmy Noether-Stipendiatin der DFG um, die im Oktober 2003 aus Australien nach Europa zurückgekehrt ist. Am Max-Planck-Institut für Psycholinguistik im niederländischen Nimwegen widmet sie sich nun ihrem Projekt „Gebärdensprachtypologie – Sprachvergleichende Studien an Gebärdensprachen“. Dabei will sie herausfinden, wie sich Gebärdensprachen ähneln und worin sie sich unterscheiden. Und: „Welche Erkenntnisse lassen sich daraus für die menschliche Sprache überhaupt gewinnen“, fragt Zeshan nachdenklich.

In der zweiten Phase ihres Emmy Noether-Stipendiums hat sie in Nimwegen eine eigene Arbeitsgruppe aufgebaut. „Gehörlose Mitarbeiter zu gewinnen, war mir dabei besonders wichtig, schließlich sind sie die Experten in eigener Sache“. Ihre derzeit sechs Mitarbeiter aus der Türkei, Südkorea, China, Usbekistan und den Niederlanden bringen nicht nur die Kompetenz in ihrer

„Gebärdensprache“ mit internationaler Ausrichtung hatte sie zuvor studiert: Allgemeine Sprachwissenschaft, Orientalistik und Anglistik an der Universität zu Köln, an der University of Jordan in Amman und an der State University of New York at Stony Brook. Danach forschte sie an den australischen Universitäten Canberra und Melbourne.

„Gebärdensprache werden fälschlicherweise mit Gesten gleich gesetzt, die unsere Lautsprache begleiten“, sagt Zeshan. So steht Gebärdensprache im Verdacht, kein vollständiges sprachliches System zu haben. „Das ist aber absoluter Unsinn“, stellt sie klar, „schließlich hat jede Gebärdensprache eine eigene Syntax und Grammatik“. Dennoch gestatten viele Länder es nicht, dass gehörlose Kinder in der ihnen gemäßen visuellen Sprache unterrichtet werden. Auch in der Bundesrepublik ist die Gebärdensprache erst seit 2002 offiziell anerkannt.

„Das größte Problem für gehörlose Menschen besteht in ihrer Ausbildung“, unterstreicht Zeshan. Deshalb gehört es auch zu den ideellen Zielen ihrer wissenschaftlichen Arbeit, die Gehörlosengemeinschaften, insbesondere in Entwicklungsländern, zu stärken. Ehrenamtlich unterstützt sie deshalb das indische Sozialministerium in Mumbai bei der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für Gehörlosenschulen oder bei der Ausbildung von Gebärdensprachlehrern. Was nicht nur ihre Mitarbeiter von ihrem wissenschaftlichen Pioniergeist und ihrem persönlichen Engagement halten, ist unübersehbar: Sie strecken beide Daumen hoch in die Luft. Einige sprachliche Zeichen sind eben universell verständlich.

Rembert Unterstell

Mit den Augen hören und den Händen sprechen

Die Sprachwissenschaftlerin Ulrike Zeshan



je eigenen Gebärdensprache mit, sondern haben bereits in ihrem Heimatland „Sprachmaterial“ gesammelt und auf Video festgehalten. Hinzu kommen aufwändige Feldforschungen, die Zeshan in Pakistan und Indien, im Libanon und in der Türkei durchgeführt hat. Die Studien, bestehend aus Videoaufzeichnungen, sprachwissenschaftlichen „Transkriptionen“ sowie grammatischen Informationen, werden in einer Datenbank zusammengeführt. Auf diesem Wege sollen vierzig Gebärdensprachen dokumentiert und erstmals vergleichend analysiert werden.

Schneisen in den Wald der Gehörlosensprachen schlug die in Erlangen geborene Linguistin bereits in ihrer Kölner Dissertation „Gebärdensprachen des indischen Subkon-

Von der Schwerkraft haben wir noch immer die Vorstellung im Kopf, die der englische Physiker Isaac Newton vor dreihundert Jahren geprägt hat: Er beschrieb sie als eine zwischen allen Massen wirkende Anziehungskraft. Wer aber Massen im freien Fall betrachtet, stellt fest, dass es sich dabei um eine kräftefreie Bewegung handelt, die an der selben Stelle des Raums immer unabhängig von der Größe und Zusammensetzung der beteiligten Massen ist. Albert Einstein zog daraus den Schluss, dass es sich bei der Gravitation um einen Effekt handelt, der von der geometrischen Struktur des Raums abhängt. Die Ausarbeitung dieser Idee führte 1915 zur Allgemeinen Relativitätstheorie.

Nach Einsteins Ansicht ist der physikalische Raum kein starres Gerüst oder lediglich die Arena für die in der Natur ablaufenden Vorgänge, sondern er nimmt selbst am Geschehen teil: Der Raum wird durch die Anwesenheit von Massen verformt. Die dadurch erzeugte Krümmung des Raums bestimmt die Bewegung anderer Massen und wirkt so scheinbar als ablenkende Kraft. Bewegen sich Massen beschleunigt, so breiten sich die dadurch hervorgerufenen Änderungen in der Raumkrümmung mit Lichtgeschwindigkeit wellenförmig nach allen Seiten aus; so entstehen Gravitationswellen. Allerdings erkannte schon Einstein, dass nur sehr große Massen mit sehr großen Beschleunigungen messbare Gravitationswellenausschläge, Amplituden genannt, erzeugen. Als mögliche Quellen kommen daher nur astrophysikalische Objekte oder Ereignisse in Frage wie etwa Systeme aus Schwarzen Löchern und Neutronensternen oder Supernovae.

Die Wirkung dieser Wellen äußert sich als eine Verzerrung des Raums, als Dehnung und Stauchung seiner geometrischen Struktur. Bei zwei senkrecht aufeinander stehenden Messstrecken führt dies zu einer unterschiedlichen Längenänderung dieser beiden Richtungen. Ein Gerät, das den Längenunterschied sichtbar macht, ist das so genannte Michelson-Interferometer. Man vergleicht damit die



Ein Horchposten ins Universum

Laufzeitunterschiede von Lichtstrahlen in den beiden Messstrecken. Das Problem für den Experimentalphysiker besteht darin, dass die zu erwartenden Längenänderungen extrem klein sind. Eine Supernova-Explosion in einer benachbarten Galaxie ändert beispielsweise die Länge einer ein Kilometer langen Teststrecke auf der Erde nur um ein Tausendstel eines Protonendurchmessers – und auch das nur für einige Millisekunden.

Seit 40 Jahren wird versucht, Gravitationswellen nachzuweisen,

aber erst heute besitzen wir die dazu notwendige empfindliche Lasermesstechnik. Der Gravitationswellendetektor GEO600 ist ein Gemeinschaftsprojekt deutscher und britischer Forschergruppen. Es handelt sich dabei um ein Michelson-Interferometer mit 600 Meter langen Messstrecken, das auf dem Gelände der Universität Hannover in Ruthe südlich von Hannover errichtet wurde. Federführend sind Wissenschaftler aus Hannover, Golm, Glasgow, Garching und Cardiff. Man erwartet Gravitationswellen-



Erst seit wenigen Jahren ist es möglich, Gravitationswellen nachzuweisen. Ein neu entwickelter Gravitationswellendetektor zeichnet sich durch besondere Empfindlichkeit aus. Mit seiner Hilfe lassen sich wichtige Informationen über Schwarze Löcher, dunkle Materie und den Ursprung des Alls gewinnen

frequenzen im hörbaren Bereich – GEO600 ist also buchstäblich ein Horchposten ins All.

Die Beobachtung von Gravitationswellen wird durch viele Effekte erschwert. Sie führen zu Änderungen in der Lichtwegdifferenz zwischen den beiden Armen und täuschen dadurch ein Signal vor. Dies sind zum Beispiel akustische Störungen (Luftdruckschwankungen); daher sind alle optischen Aufbauten in großen Vakuumtanks untergebracht. Die Messstrecken selbst verlaufen in evakuierten Edelstahl-

rohren mit einem Durchmesser von 60 Zentimetern. Hier wird ein Vakuum wie im erdnahen Weltraum benötigt.

Nahe liegende Störquellen sind ferner Bodenerschütterungen aller Art, die Wärmebewegung in den optischen Komponenten, aber auch technische Schwankungen in der Lichtintensität, die zu Rauscheffekten führen. Um die erforderliche Empfindlichkeit zu erreichen, müssen diese Störquellen hinreichend abgeschwächt oder in einen Frequenzbereich außerhalb des Mess-

fensters verschoben werden. Eine besondere Herausforderung stellte die Entwicklung eines geeigneten Lasers für GEO600 dar. Laser für Gravitationswellendetektoren müssen nicht nur besonders leistungstark sein, sondern auch extrem stabil bezüglich Frequenz, Amplitude und geometrischer Verteilung des Lichts. Außerdem müssen sie monatelang im Dauerbetrieb arbeiten können. Zusammen mit dem Laser Zentrum Hannover wurde in den letzten Jahren ein Laser mit einer Ausgangsleistung von 17 Watt Dauerleistung auf der Basis eines

Um Gravitationswellen nachzuweisen, bedarf es einer hoch empfindlichen Lasermesstechnik, die erst in den letzten Jahren entwickelt werden konnte. Im Zentralhaus des neuen Gravitationswellendetektors GEO600 werden alle optischen Komponenten in evakuierbaren Edelstahl tanks untergebracht.



speziellen Lasersystems entwickelt. Da die optimale Lichtleistung für GEO600 aber im Kilowatt-Bereich liegt, musste eine Möglichkeit gefunden werden, die umlaufende Lichtleistung im Detektor zu erhöhen: Das Interferometer arbeitet mit einer so genannten Nullmethode; durch Regelkreise wird der Ausgang dunkel gehalten (erst bei Eintreffen einer Gravitationswelle gelangt ein wenig Licht zum Ausgang). Das bedeutet, dass das

Laserlicht nach dem Durchlaufen der Arme zurück zum Eingang gelenkt wird. Durch einen zusätzlichen Spiegel kann dieses Licht erneut in die Arme eingespeist und

mit dem einfallenden Licht überlagert werden („Power-Recycling“). GEO600 kann auf diese Weise effektiv mit zehn Kilowatt arbeiten. Das „Signal-Recycling“ sorgt mit einer ähnlichen Methode für die Überhöhung des Signals.

Seit 1995 wird weltweit der Bau von großen Laserinterferometern zum Gravitationswellennachweis vorangetrieben. Im Rahmen des US-amerikanischen Projekts LIGO wurden Detektoren mit vier Kilometer langen Armen gleich an zwei

Standorten errichtet, einer im Nordwesten der USA (Washington) und einer im Südosten (Louisiana). In der Nähe von Pisa ist das französisch-italienische Projekt VIRGO mit drei Kilometer Armlänge gerade fertiggestellt worden. Trotz seiner kürzeren Armlänge hat GEO600 etwa die gleiche Empfindlichkeit wie die großen Detektoren, da es im Unterschied zu ihnen bereits in der ersten Ausbaustufe die in den letzten Jahren entwickelten fortschrittlichen Technologien nutzt. Das

Signal-Recycling, die Aufhängung der optischen Komponenten an Quarzglasfasern und die Möglichkeit, den Detektor auf eine gewünschte Frequenz optimal abzustimmen, werden bisher einzig bei GEO600 eingesetzt.

Die verschiedenen Projekte sind auf Kooperation angewiesen. Erst im Zusammenwirken mit einem weit entfernten Detektor kann sichergestellt werden, keinen lokalen Störungen aufzusitzen. Um aber Informationen über die Richtung der Quelle sowie über die Schwingungsform der Signale zu erhalten, ist ein weltweites Netz von wenigstens vier Detektoren er-

forderlich. Daher haben die verschiedenen Stationen den Austausch und die gemeinsame Auswertung der Daten vereinbart. Besonders eng ist die Zusammenarbeit zwischen GEO600 und LIGO. Von Ende Dezember 2001 bis Mitte Januar 2002 fand ein paralleler Probelauf beider Detektoren statt, in dem erfolgreich die Systemstabilität und Programme zur Datenaufnahme und Datenauswertung getestet wurden. Erste Ergebnisse werden gerade veröffentlicht. Da keine der Anlagen bisher die geplante Empfindlichkeit erreicht hat, sind allerdings nur Abschätzungen möglich. Die Detektoren werden laufend verbessert. Ende 2003 und Anfang 2004 gab es wieder eine gemeinsame Datenaufnahme von GEO600 und LIGO. Ab 2004 soll der reguläre Messbetrieb aufgenommen werden.

GEO600 aus der Vogelperspektive: Vom kastenförmigen Hauptgebäude des Gravitationswellendetektors gehen zwei jeweils 600 Meter lange Messstrecken ab, die durch Endhäuser abgeschlossen werden. Die Messstrecken selbst (links) verlaufen in Edelstahlrohren, die in einem Graben aufgehängt sind.

forderlich. Daher haben die verschiedenen Stationen den Austausch und die gemeinsame Auswertung der Daten vereinbart. Besonders eng ist die Zusammenarbeit zwischen GEO600 und LIGO. Von Ende Dezember 2001 bis Mitte Januar 2002 fand ein paralleler Probelauf beider Detektoren statt, in dem erfolgreich die Systemstabilität und Programme zur Datenaufnahme und Datenauswertung getestet wurden. Erste Ergebnisse werden gerade veröffentlicht. Da keine der Anlagen bisher die geplante Empfindlichkeit erreicht hat, sind allerdings nur Abschätzungen möglich. Die Detektoren werden laufend verbessert. Ende 2003 und Anfang 2004 gab es wieder eine gemeinsame Datenaufnahme von GEO600 und LIGO. Ab 2004 soll der reguläre Messbetrieb aufgenommen werden.

Mit der Beobachtung von Gravitationswellen wird sich ein neues Gebiet der Astronomie eröffnen. In

Eine herausfordernde Forschungsaufgabe war das Entwickeln eines leistungsstarken Lasers für GEO600

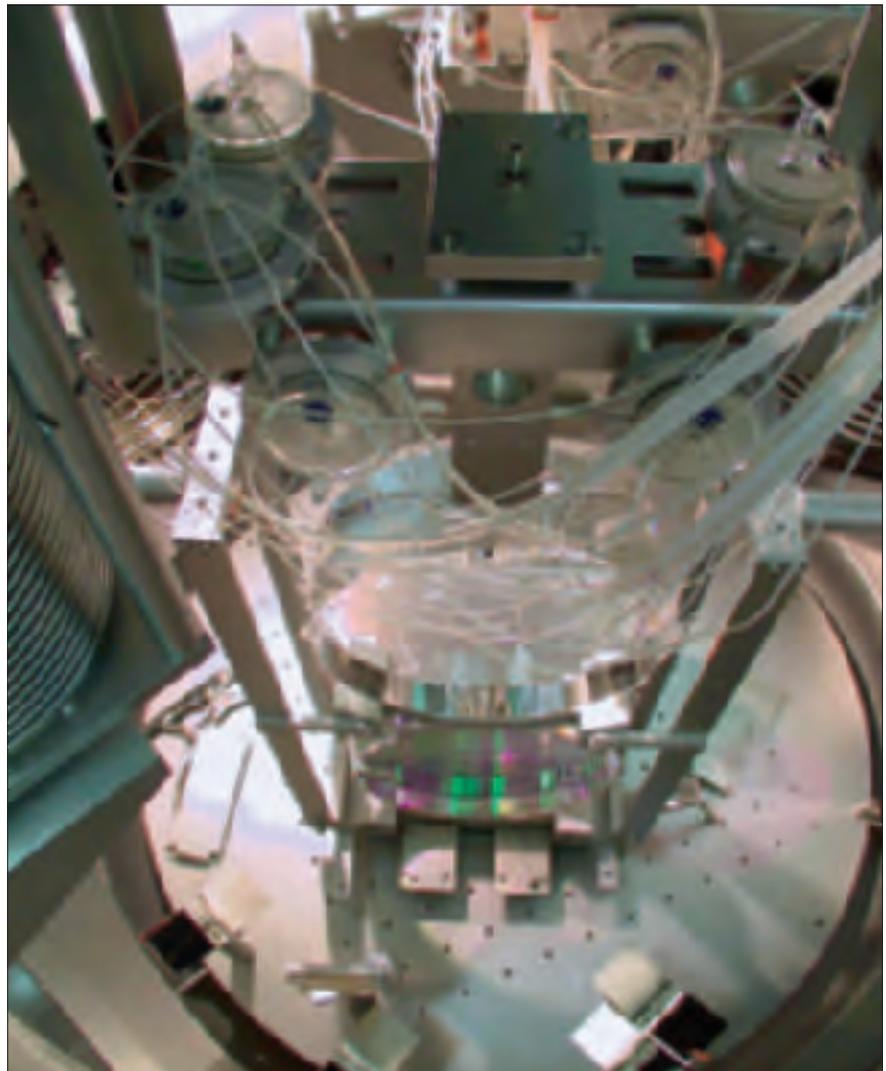
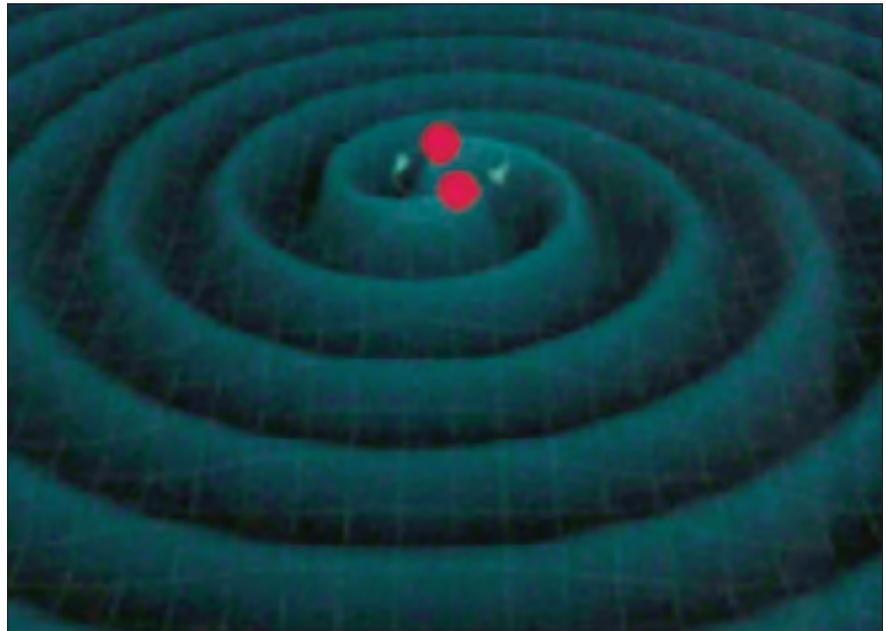
Zwei einander umkreisende Neutronensterne erzeugen Gravitationswellen, die mit Lichtgeschwindigkeit zur Erde gelangen. Unten: Damit GEO600 nicht auch Bodenerschütterungen überträgt, werden Spiegel und Strahlteiler als mehrstufige Pendel aufgehängt.

der Struktur der Wellen bildet sich der astrophysikalische Vorgang, der sie erzeugt hat, genau ab. Wir werden so Informationen über das Universum erhalten, die völlig anderer Art sind als die aus der klassischen Astronomie mit Licht, Radiowellen oder Röntgenstrahlung. Die meisten Quellen von Gravitationswellen senden keine elektromagnetische Strahlung aus und umgekehrt. Die Informationen über das All, die mit diesen beiden Zweigen der Astronomie gewonnen werden, ergänzen sich also. Zudem besteht der größte Teil des Universums aus dunkler Materie, die nur über eine mögliche Gravitationsstrahlung erfasst werden kann.

Gravitationswellen besitzen praktisch keine Wechselwirkung mit Materie. Das erschwert einerseits ihren Nachweis, macht sie aber andererseits zu idealen Informationsträgern. Das gesamte Universum ist transparent für Gravitationswellen. Deshalb erwarten Forscher Gravitationswellen auch aus den bisher verschlossenen, durch Wolken verdeckten Bereichen des Universums sowie aus seiner Entstehungszeit. Die beim Urknall entstandenen Gravitationswellen sollten heute noch als Hintergrundstrahlung zu beobachten sein. Die Aufnahme dieser Signale gibt Auskunft über das Universum unmittelbar nach seiner Geburt – man lauscht gewissermaßen dem ersten Schrei unserer Welt.

*Dr. Peter Aufmuth
Universität Hannover*

Physikalische Grundlagenuntersuchungen für das Projekt wurden von der DFG im Rahmen der Sonderforschungsbereiche „Quantenlimitierte Messprozesse mit Atomen, Molekülen und Photonen“ und „Gravitationswellenastronomie: Methoden – Quellen – Beobachtungen“ unterstützt. Weiterführende Informationen unter www.geo600.uni-hannover.de.



Die Welt der Lebenden und die Welt der Toten

Das erste ungeplünderte Königsgrab Syriens entdeckten Archäologen bei Ausgrabungen der Palastanlage von Qatna. Die Grabkammern erlauben neuartige Einblicke in Ahnenkult und Bestattungspraktiken des alten Orient

Eigentlich hätten die Ausgrabungen im syrischen Palast von Qatna, einer der größten Palastanlagen der altorientalischen Welt, im Oktober 2002 zu Ende sein sollen. Doch dann gab es einen Aufsehen erregenden Fund: das erste ungeplünderte Königsgrab in der Archäologie Syriens war entdeckt worden. Damit bot sich plötzlich eine Fülle an neuen Informationen über die Welt der Lebenden und die Welt der Toten im Königtum von Qatna.

Qatna war eine Königsresidenz des zweiten Jahrtausends vor Christus. Sie liegt im heutigen Ruinenhügel Tell Mishrife begraben. Der Ort befindet sich in der Nähe
40 der modernen Großstadt Homs im

westlichen Teil Syriens am Übergang von den fruchtbaren Ackerfeldern zur großen Weite der syrisch-arabischen Wüstensteppe. Qatna lag am Kreuzungspunkt wichtiger Verkehrswege.

Die Könige gründeten ihre Macht deshalb vor allem auf den Handel. Sie regierten über ein Reich, das seine größte Ausdehnung zwischen 1800 und 1600 vor Christus hatte. In dieser Periode konnte das Königtum seinen Einfluss bis weit in den Norden Syriens, nach Ebla, sowie in den Süden Syriens, bis nach Damaskus, ausdehnen. Sogar Städte im Norden Palästinas standen zeitweise unter Qatnas Vorherrschaft.

In der Folgezeit, zwischen 1600 und 1340 vor Christus, waren die



Könige von Qatna vom mächtigen Mittani-Reich in Nordmesopotamien abhängig. Die politische Bedeutung Qatnas wurde dadurch zwar stark reduziert, aber sein Reichtum blieb in dieser Periode bestehen, sicherlich dank der kontinuierlichen Bedeutung des Handels. Deshalb war Qatna auch eines der Objekte in den Auseinandersetzungen zwischen dem Hethitischen Reich Anatoliens und dem Ägyptischen Pharaonenreich um die Vorherrschaft in Syrien. Im Verlauf der

Feldzüge der Hethiter in Syrien, wahrscheinlich um 1340 vor Christus, wurde Qatna zerstört, der Palast geplündert und die Stadt in der Folge verlassen.

Dieses tragische Schicksal Qatnas ist das Glück der Archäologen. Die Zerstörer hatten das Gebäude in Brand gesetzt, die schweren Dachbalken aus Zedernholz stürzten herab, die Wände des Gebäudes fielen darüber ein.

Der Palast wurde schon vor 80 Jahren ausgegraben: Der französi-

der Universität Tübingen. Der mittlere und der westliche Teil der Palastruine wird seit 2000 von den deutschen, der östliche Teil von den italienischen Archäologen ausgegraben. Die italienischen und die syrischen Wissenschaftler untersuchen ferner mit viel Erfolg weitere Teile des ausgedehnten Ruinengeländes der alten Stadt Qatna.

Allerdings war der erste Eindruck bei den neuen Grabungsarbeiten ernüchternd. Du Mesnil du Buisson hatte in den größten Teilen des Ge-



Links: In der Hauptkammer einer unterirdischen Grabanlage fanden Archäologen einen Sarkophag aus Basalt. Hier sind die Gebeine der königlichen Familie von Qatna bestattet. Die intensive Grabungsarbeit in Syrien ging stets mit ihrer begleitenden Dokumentation (oben) einher. Darüber: Die Ruinen des neuzeitlichen Dorfes Mishrife, deren Bewohner umgesiedelt wurden, um die Ausgrabung des bronzezeitlichen Palastes zu ermöglichen.

sche Archäologe Comte Robert Du Mesnil du Buisson führte zwischen 1924 und 1929 Grabungen durch. Für die Erforschung mit modernen wissenschaftlichen Methoden boten sich im Jahr 1999 neue Möglichkeiten, als eine internationale Kooperation zur Ausgrabung Qatnas ins Leben gerufen wurde. An dieser beteiligten sich die Antikendirektion Syriens, die italienische Universität Udine und ein Team von Archäologen des Altorientalischen Seminars

bäudes bis auf die Fußböden der Räume hinab gegraben und die Funde, soweit vorhanden, geborgen. Nach Beendigung der Ausgrabungen hatten die Bewohner des auf den Ruinen entstehenden Dorfes alle oberirdisch anstehenden Mauerreste des Palastes abgetragen, neue Lehmziegel daraus geformt und ihre modernen Häuser direkt auf den alten Fußböden des Palastes errichtet. Was sollte noch an originalen Funden aus dem 41



bronzezeitlichen Palast erhalten sein?

Die wichtigsten Anhaltspunkte für die Erforschung des Palastgebäudes sind die Fundamente. Diese bestehen aus Lehmziegeln und sind vier bis fünf Meter tief eingelassen. Sie sind ein untrügliches Indiz für den Verlauf des ehemaligen Mauerwerks und damit für den gesamten Grundriss. Raum für Raum des Palastes lässt sich durch die Freilegung der Fundamentmauern nachzeichnen. Eine große Halle diente wahrscheinlich für Audienzen. Ihr Innenmaß von 36 mal 36 Metern übersteigt alle Dimensionen des bisher bekannten bronzezeitlichen Palastbaus. Die Überdachung dieses Riesensaales gelang mit Hilfe von vier großen Säulen, die im Abstand von zwölf Metern zueinander in Form eines Quadrates im Rauminneren aufgestellt waren.

Im Innenbereich des Palastes lag auch eine Zisterne, die die Wasserversorgung der Bewohner und Bediensteten sicherstellte. Ihr großes Speichervermögen ergibt sich aus dem Loch, das unter dem Palast in den Fels geschlagen wurde. Auf allen Seiten der Zisterne trugen große Terrassenmauern die dahinter anschließenden Räume. Einer dieser Räume ist in die Tiefe gestürzt, nachdem die Terrassenmauer fast komplett umgefallen war. Dieses Ereignis fand wahrscheinlich im Zusammenhang mit der

endgültigen Zerstörung des Palastes statt. Die Fußbodenplatten des Raumes, Reste seines Inventars und vor allem die in dem Raum ehemals angebrachten Wandmalereien fanden sich in einem Schuttkegel in der Zisterne.

Die Fragmente der Wandmalereien erregen wissenschaftliches Aufsehen. Ihre Farben und Motive erinnern an die minoische Malerei der kretischen Paläste und der Häuser auf der Ägäis-Insel Thera aus der Zeit zwischen 1800 und 1550 vor Christus. Ihre Technik verrät, dass sie eigenständige syrische Schöpfungen und nicht etwa von kretischen Künstlern ausgeführt waren. Dennoch werden durch die Malereien des Palastes von Qatna die engen Beziehungen zwischen der Ägäis und Syrien in der Mitte des zweiten vorchristlichen Jahrtausends deutlich.

Die spektakulären Entdeckungen der Grabungskampagne 2002 begannen, als ein mit Lehmziegeln gemauerter Gang gefunden wurde, der aus dem Thronsaal des Palastes in die Tiefe, das heißt in den Bereich der Palastfundamente führte. Zunächst gelangte man über eine lange Treppe aus Lehmziegelstufen mit Holzbohlenauflagen hinab. Am Ende der Treppe, etwa vier Meter unter dem Palastfußboden, befand sich eine Tür, deren Rahmen und Wandveranke-

Prächtige Grabbeigaben wurden im Königsgrab von Qatna entdeckt, darunter zwei plastisch gearbeitete Goldenten, eine feingliedrige, aus Goldblech geformte Hand sowie eine künstlerisch gestaltete kleine Dose in Form eines Löwenkopfes.

rungen sich in Form von verkohlten Hölzern noch deutlich abzeichneten. Hinter dieser Tür setzte sich der Korridor zwischen engen Fundamentmauern noch rund 30 Meter weit fort.

Der Brandschutt aus dem Erdgeschoss des Palastes war hier herabgefallen. Darunter fanden sich 73 Tontafeln, mit Keilschrift beschrieben und in einer aus akkadischen und hurritischen Worten zusammengesetzten Mischsprache. Alle diese Texte gehörten zum Archiv des Königs Idanda, dem vermutlich letzten Herrscher von Qatna vor der Zerstörung des Palastes. Die Keilschrifttafeln müssen ehemals über dem unterirdischen Korridor in flachen Keramikschalen aufbewahrt worden sein. Die Texte geben weitreichende Einblicke in das politische Geschehen und die Aktivitäten des Palastes in der Zeit kurz vor 1340 vor Christus.

Die Keilschrifttafeln waren in den Korridor hineingefallen. Mit der ehemaligen Funktion dieses unterirdischen Ganges hatten sie aber nichts zu tun. Die Überraschung

war: Der Korridor endete im Vorraum der königlichen Grabkammer.

Mit großem Einsatz von Arbeitskräften wurde der Brandschutt, der den Schacht füllte, herausgenommen. Auf dem Fußboden zeigte sich die erste große Überraschung: zwei Statuen aus Basalt, die Sitzbilder von verstorbenen Königen darstellen. Sie waren als Ahnenbildnisse verehrt worden, vor ihnen lagen noch einige zerbrochene Opferschalen. Zwischen den beiden nebeneinander aufgestellten Figuren öffnete sich eine Felstür, die den Zugang in eine große rechteckige Felskammer bildete. Von ihr gingen drei weitere Kammern auf verschiedenen Seiten ab. Der erste Blick in die Kammern war atemberaubend. Sie waren nicht verfüllt, und es



ließen sich zwei Sarkophage, Vasen, Keramikgefäße und goldene Schmuckteile erkennen. Damit war sicher: Das Grab war nicht geplündert!

Bevor die Arbeiten im Inneren der Kammern begonnen werden konnten, wurden Proben der Luft und von Pilzbefallstellen genommen und mit Hilfe des Robert-Koch-Instituts in Berlin untersucht. Auszuschließen war die Gefahr von gefährlich erhöhten Pilzsporenkonzentrationen, die vor 80 Jahren einigen der Entdecker des Tut-Anch-Amun-Grabes in Ägypten zum Verhängnis geworden waren. Die Pro-

ben zeigten keine erhöhten Werte. Dennoch wurde zusätzlich ein vollständiger Austausch der Luft vorgenommen, bevor die Anlage zum ersten Mal betreten wurde.

Im ersten großen Sarkophag aus Basalt konnte der Anthropologe des Tübinger Teams die Knochen von mindestens drei verschiedenen Individuen feststellen. Im zweiten Sarkophag war die Situation ähnlich. Dies wies darauf hin, dass es sich nicht um das Grab eines einzelnen Königs, sondern um die Grablege der königlichen Familie handeln musste. Es ließen sich Knochen von Erwachsenen und Kindern, von Frauen und Männern unterscheiden. In den Sarkophagen waren außerdem Kalzitgefäße, Keramikschalen, eine Goldschale, ein Zep-

ter aus Elfenbein und goldene Schmuckscheiben deponiert.

In der Hauptkammer waren die Reste von hölzernen Bahren deutlich zu erkennen. Darauf waren einstmals weitere Bestattungen vorgenommen worden. Deren Knochen waren schlecht erhalten, dafür aber mit Grabbeigaben übersät: ein kleines Elfenbeindöschen in Form eines Löwenkopfes, eine runde Schmuckrosette aus Gold mit Einlagen aus Karneol und Elfenbein, kleine goldene Schmuckplatten mit figürlichen Reliefs verziert, zahlreiche Perlen aus Gold, Glas und Stein, die auf die Bahren gestreut waren,

Bündel von bronzenen Lanzenspitzen, der goldene Beschlag eines ebenfalls mit Reliefs verzierten Köchers, Rollsiegel und anderes mehr.

An den Rändern der Hauptkammer standen steinerne Bänke. Auf ihnen konnte man sitzen, wenn kultische Feiern stattfanden. Achtlos unter die Bänke geworfene Tierknochen sind Zeichen für kultische Mahlzeiten. Vorratsgefäße und Essschalen auf den Bänken zeigen ebenfalls an, dass hier Lebensmittel aufbewahrt und verzehrt worden sein müssen. Die Lebenden und die Toten hielten sich zu gemeinsamen Mahlzeiten in der Hauptkammer auf. Dies verbindet sich mit der als „Kispu“ bekannten altorientalischen Vorstellung, dass die Toten über einen langen Zeitraum regelmäßig mit Speisen versorgt werden mussten, um deren positive Kräfte für die Nachwelt zu erhalten. Noch nie in der Vorderasiatischen Archäologie ließ sich das Kispu-Ritual so deutlich nachweisen wie hier.

In einer der Nebenkammern fand sich eine dichte Ablagerung von Knochen. Hier war die endgültige Ruhestätte der Gebeine der königlichen Dynastie von Qatna. Auch hier wurden die Toten noch mit Speisen versorgt, wie Opferschalen auf diesem Knochenberg nachweisen. Die Anhaltspunkte verdichten sich, dass das unterirdische Gewölbe 400 Jahre durchgehend als königliche Grabstätte benutzt wurde.

Die Funde der Kampagne 2002, allein 1900 Einzelobjekte aus den Grabkammern, werden eine lange Phase der Dokumentation, Auswertung und Interpretation nach sich ziehen. Schon jetzt ist aber deutlich, dass zwei neue wissenschaftliche Kapitel der Erforschung altsyrischer Kulturen aufgeschlagen werden konnten: das eine über die altorientalischen Bestattungspraktiken und den damit verbundenen Ahnenkult, das andere über die Kunstgeschichte Westsyriens im zweiten Jahrtausend vor Christus.

*Prof. Dr. Peter Pfälzner
Universität Tübingen*

Die Studien werden von der DFG im Normalverfahren gefördert



Das Geräusch, das aus der Farbe kommt

Visuelle und akustische Eindrücke werden in der subjektiven Wahrnehmung des Menschen miteinander verbunden. Geräusche und Bilder – ihr neuartiges Zusammenspiel legt die Grundlage für eine Optimierung von Produkten

An der subjektiven Bewertung von Produkten sind üblicherweise alle Sinne beteiligt. Beispielsweise wird ein Kaufinteressent ein ins Auge gefasstes neues Auto mit nahezu allen Sinnen wie Sehen, Hören, Riechen und Fühlen beurteilen. Das optische Design spielt dabei eine ganz wesentliche Rolle, aber auch das satte Geräusch, mit dem die Tür ins Schloss fällt, signalisiert dem potenziellen Käufer Qualität. Unsere Nase erkennt an dem typischen Geruch, dass es sich um ein neues Auto handelt, und wir wissen sofort, ob sich das Lenkrad adäquat anfühlt. Die Forschung zur Psychophysik einzelner Sinnesmodalitäten ist bereits weit fortgeschritten, und es existieren Modelle, mit denen sich sehr genau vorhersagen lässt, wie eine Gruppe von Personen beispielsweise die Geräusch-Qualität eines Autos beurteilen wird.

Wesentlich weniger erforscht sind jedoch so genannte multimodale Interaktionen. So kann zum Beispiel die wahrgenommene Laut-

stärke nicht nur durch das Gehörte, sondern auch durch zusätzlich wahrgenommene visuelle Eindrücke beeinflusst werden. In diesem Beitrag sollen für solche audio-visuellen Interaktionen Beispiele aufgezeigt werden: In einer ersten Versuchsreihe wurde der Einfluss der Farbgebung auf die wahrgenommene Lautstärke einer Zugvorbeifahrt untersucht. Die Vorbeifahrt eines ICE wurde auf ein digitales Magnetband aufgezeichnet und Versuchspersonen über Kopfhörer vorgespielt. Nach jeder Darbietung sollte die Versuchsperson ein Urteil über die Lautstärke der Zugvorbeifahrt abgeben. Zusätzlich zur akustischen Darbietung konnte die Versuchsperson auf einer 3 x 3 Meter großen Leinwand die Abbildung eines ICE sehen. Dabei wurde zum einen der ICE in Originalfarbe, das heißt weiß mit einem roten Streifen, präsentiert. Zum anderen wurde der ICE mithilfe des Computerprogramms Paintbrush hellrot, hellblau und hellgrün eingefärbt. Obwohl die Testpersonen das Zugeräusch

in immer gleicher Lautstärke hörten, erschien ihnen offenbar der rote Zug im Vergleich zum hellgrünen Zug lauter. Hier ergibt sich also eine wissenschaftlich nachgewiesene audio-visuelle Interaktion, von der die Praktiker längst Gebrauch machen: Sportwagen, deren kraftstrotzende Leistung man ja auch hören soll, werden sehr häufig in hellroter Farbe ausgeführt. Im Gegensatz dazu ist ein hellgrüner Sportwagen serienmäßig nicht zu haben. Die Verstärkung der Lautstärke durch eine passende Farbe wird also in der Praxis bereits eingesetzt, obwohl – wissenschaftlich be-

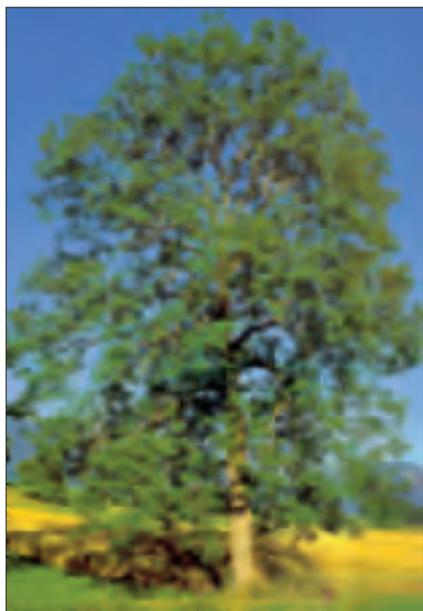
Ob beim Auto oder beim Zug – eine rote Farbgebung kann offenbar die wahrgenommene Lautstärke eines Fahrzeugs verstärken. Dies versichern auch Testpersonen, denen auf einer Leinwand verschiedenfarbige ICE-Züge gezeigt und die gleichzeitig über Kopfhörer mit Geräuschen in konstanter Lautstärke konfrontiert werden. Das erstaunliche Ergebnis: Im subjektiven Vergleich erscheint der rote Zug lauter.



trachtet – die psychophysikalischen und neurophysiologischen Hintergründe dieser audio-visuellen Interaktionen bisher nur wenig erforscht sind.

Während in der ersten Versuchsreihe Geräusch und Bild „zusammenpassten“, wurde in einer weiteren Versuchsreihe der Einfluss „schallfremder“ Bilder auf das Lautstärkeurteil untersucht. Den Versuchspersonen wurden wieder über Kopfhörer Geräusche von vorbeifahrenden Zügen vorgespielt. Zusätzlich zu diesen akustischen

Dem Wechselspiel zwischen visuellen und akustischen Eindrücken auf der Spur: Das Bild eines sommerlichen und das eines winterlichen Baumes wird Versuchspersonen mit einer „unnatürlichen“ Geräuschkulisse präsentiert.



Reizen wurden ihnen schallfremde Standbilder wie zum Beispiel ein Baum im Sommer oder Winter gezeigt.

Obwohl die Personen physikalisch identische Schalle zu hören bekamen, hatten sie den Eindruck, dass die wahrgenommene Lautstärke der Zugvorbeifahrt bei der Betrachtung eines schallfremden Standbildes geringer ist. Diese Wahrnehmung ist bei Darbietung eines Baumes in einer Winterlandschaft größer als bei Darbietung eines sommerlich begrünten Baumes. Möglicherweise ruft der An-

blick einer Winterlandschaft die Erinnerung der Versuchspersonen hervor, dass im Winter Schalle durch Schnee „verschluckt“ werden können. Diese Vermischung von Bild- und Toninformationen im Gehirn könnte Ursache für das als leiser empfundene Winterszenario sein.

Während bei den bisherigen Untersuchungen immer Standbilder verwendet wurden, sollte das nächste Experiment Aufschluss darüber geben, ob Videobilder noch größere audio-visuelle Interaktionen auslösen können. Wieder wurde den Versuchspersonen über Kopfhörer der vorbeifahrende Zug eingespielt, wobei den Probanden nun zusätzlich Bilder über eine Videobrille gezeigt wurden: zunächst das Standbild eines Güterzuges und



im Anschluss ein Video desselben. Wie erwartet, reduziert das Standbild des Güterzuges bereits die wahrgenommene Lautstärke. Wird jedoch der Versuchsperson zusätzlich zum Vorbeifahrtgeräusch eines Güterzuges das zugehörige Video gezeigt, so reduziert sich die wahrgenommene Lautstärke nochmals deutlich. Offensichtlich sind audio-visuelle Interaktionen bei Bewegtbildern stärker ausgeprägt als bei Standbildern.

In den bisherigen Experimenten befanden sich die Versuchspersonen immer in der Position des ru-

henden Beobachters. Um im weiteren Verlauf der Experimente die Versuchspersonen jedoch noch stärker in die Geräusch- und Bildkulisse einzubinden, wurden in der folgenden Versuchsreihe die Probanden in einen dynamischen Beobachtungspunkt versetzt, indem Audio- und Videoaufnahmen in einem fahrenden Personenkraftwagen bei unterschiedlichen Situationen (Ampelstopp, 30 Stundenkilometer, 50 Stundenkilometer, Landstraße, Autobahn, Tunnel) gemacht wurden. Wieder wurden die akustischen Stimuli konstant gehalten und die visuellen Stimuli in einer ersten Versuchsreihe über die Videobrille in einer Hörkabine präsentiert. In einer weiteren Versuchsreihe wurde das Experiment in einem Fahrsimulator mit Projektion der Videosequenz über Beamer durchgeführt, wobei die Versuchsperson die Situation aus der Sicht des Fahrers erlebte.

Auch in dieser Versuchsreihe ist der Einfluss der bildlichen Darstellung auf die akustische Wahrnehmung offensichtlich. So schätzen die Versuchspersonen die Geräusche einer virtuell vorgetäuschten Autofahrt deutlich leiser ein als in einer statischen Beobachterrolle. Noch deutlicher sind die Ergebnisse im Fahrsimulator. Hier sind die Geräusche in der Wahrnehmung der Probanden um bis zu 50 Prozent leiser als in Situationen mit gleicher akustischer Belastung, aber eher realitätsfernen Szenarien.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen eindrucksvoll, wie das Verhältnis von Geräuschen und Bildern die Wahrnehmung der Menschen beeinflusst. Auch wenn erste Erfahrungen mit diesem Phänomen bereits Eingang in die Optimierung von Produkten gefunden haben, steht die wissenschaftliche Durchdringung der zu Grunde liegenden psychophysikalischen und neurophysiologischen Mechanismen jedoch erst am Anfang.

*Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl
Dr.-Ing. Christine Patsouras
Technische Universität München*

Das Projekt wurde im Normalverfahren der DFG gefördert.



Der Weg in die Vergangenheit

Wege prägen das Gesicht von Gärten und Parks. Das wussten schon die Pioniere der Landschaftsgärtnerei. Wenn heute historische Wege rekonstruiert werden, ist dies nicht nur für die Denkmalpflege aufschlussreich

Wege sind ein wesentliches Element vieler Garten- und Parkanlagen. Fürst Hermann von Pückler-Muskau (1785 bis 1871) formulierte in seinem weit über deutsche Lande hinaus bekannten Werk „Andeutungen über Landschaftsgärtnerei“ aus dem Jahre 1834 die wesentlichen Gesichtspunkte für die Ausführung von Wegen in Gärten und Parks des 19. Jahrhunderts. Wege seien, so schrieb Pückler-Muskau, „1. so zu führen, dass sie auf die besten Aussichtspunkte ungezwungen leiten. 2. dass sie an sich eine gefällige und

zweckmäßige Linie bilden. 3. dass sie auch die übersehbaren Flächen, durch die sie führen, nur in malerischen Formen abschneiden. 4. dass sie nie ohne Hindernis und sichtlichen Grund sich wenden. 5. endlich, dass sie technisch gut gemacht werden, immer hart, eben und trocken sind.“

Das Erscheinungsbild von Wegen ist vom landschaftlichen oder architektonischen Gestaltungsideal geprägt. Ihre gerade oder geschwungene Form, das heißt ihre Funktion als „stumme Führer“, die insbesondere im weitläufigen Land-

schaftsgarten wandelnde Besucher zu attraktiven Aussichtspunkten leiten, beeinflusst die Bauweise jedoch weniger stark. Der technische und konstruktive Schichtenaufbau aus lastaufnehmender Tragschicht, nivellierender Ausgleichsschicht und optisch ansprechender Deckschicht sowie die meist entwässe-

Im Rahmen denkmalpflegerischer Aktivitäten wurde auch der Gartenweg hinter der ehemaligen Villa des Malers Max Liebermann am Berliner Wannsee nach historischem Vorbild wiederhergestellt.



rungstechnisch ausgeprägte Profilwölbung bleiben im Wesentlichen gleich. Variiert werden dagegen Materialien oder Schichtstärken. Bautechnische Unterschiede, die durch ästhetische Vorstellungen bedingt sind, betreffen hauptsächlich die sichtbaren Bestandteile der Wege: die Wegekanten und die Deckschicht. So versuchte Pückler-Muskau englische Vorbilder nachzuahmen, scheiterte aber mit seinem Experiment. Grundsätzlich stärker als von zeitgenössischer Mode wird die Bauausführung von Fahr- und Fußwegen durch die Art ihrer Nutzung, die Geländemodellierung sowie die anstehende Bodenart bestimmt.

Weitere wichtige Größen sind dann neben Breite und optischer Wirkung auch die Baukosten und Materialverfügbarkeit. Die Bequemlichkeit der Wege zu möglichst jeder Jahreszeit hat ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die ausgewählte Bauweise. All diese Faktoren finden letztendlich im Wegebaukörper ihren aussagekräftigen Niederschlag. Nach Auffassung des antiken Autors Vitruv (geboren um 84 v. Chr.) enthält jedes Bauwerk in unterschiedlichem Maß die Grundkomponenten 48 *firmitas* (Konstruktion), *utilitas*

Oben: Große Zufahrt zu Windsor Castle. Von einer Studienreise nach Großbritannien im 19. Jahrhundert brachte der Gartenbaumeister Fürst Hermann Pückler-Muskau viele Anregungen mit. Rechts: In seiner historischen Parkanlage von Bad Muskau – hier eine mit Fuchsienampeln dekorierte eiserne Brücke – konnte der Besucher wandeln wie in einem englischen Garten.

(Konzeption) und *venustas* (Komposition) eingeschrieben, die sich bei geeigneter Analysetechnik wieder herauslesen lassen. Beispielsweise sagt allein die Güte und Verarbeitungsqualität der Unterkonstruktion oder der Wegerand-

befestigung viel über die propagandistischen Absichten des Bauherrn und seine tatsächlichen finanziellen Möglichkeiten aus. Am historischen Bauwerk lassen sich

aber meist ebenso Materialherkunft, Bauphasen, Planungsfehler oder Ausführungsmängel deutlich ablesen.

Leider befinden sich viele historische Wege in einem sehr vernachlässigten Pflegezustand und müssen notdürftig gesichert werden. Angesichts von Verfall und intensiver Grundlagenforschung in der Gartendenkmalpflege stellt sich

Die Auswertung der historischen Zeugnisse vor Ort wird durch schriftliche Quellen ergänzt und vertieft





Akzente in Park und Garten: Die große Fontäne (oben) des künstlichen Wasserbassins im Dresdner Großen Garten. Links: Die sanierte Parkanlage auf der Schlossinsel Rheinsberg. Für deren Wiederherstellung wurden gartenarchäologische Studien durchgeführt. Unten: Ein historischer Plattenweg mit Kissen- und Polsterstauden – Weg und Randbepflanzung sind eine Beziehung eingegangen.

dabei die Frage nach geeigneten Erfassungsmethoden für noch vorhandene Originalsubstanz. Erst seit Mitte der 90er Jahre gibt es eine Garten- und Landschafts-Bauforschung als Äquivalent zur traditionellen Historischen Bauforschung.

Viele neuere Publikationen beschreiben unter Betrachtung eines historischen Gartens, einer Parkanlage oder eines Kulturlandschaftsausschnittes eher die am Wege liegenden Ortschaften, die Sehenswürdigkeiten, die gartenhistorischen Ereignisse oder Besonderheiten. Das Augenmerk gilt ganz dem jeweiligen Wegebauwerk: dem Wegekörper und seinen technisch-konstruktiven Charakte-

ristika, den wegebezogenen Geländemodellierungen oder den gartenlandschaftsbaulichen Entwässerungs- und Pflorgetechniken. Die Untersuchung dokumentiert für verschiedene Wegetypen die gewonnenen Erfahrungen mit verschiedenen Verfahren der Bestandserfassung und entwickelt daraus eine verbesserte und allgemein anwendbare Methodik. Die Perspektive ist dabei keine antiquarische, sondern eine gartenlandschaftsbautechnische und historische. Es geht nicht allein um die Feststellung des Bestandes, sondern auch um das jeweilige Vor-, Nach- beziehungsweise Überleben der Wegebauten. Historischer Wandel in Konstruktion, Konzeption und ebenso Komposition darf nicht nur gelesen und gedacht, sondern muss auch geschaut und begriffen werden.

In einem ersten Schritt wird aus fachspezifischen Quellen wie zeitgenössischen Hand- und Lehrbüchern oder aus historischem Planmaterial ein Überblick über ge-



Intarsien der Geschichte: Der Ehrenhof des Charlottenburger Schlosses in Berlin ist mit historischen und nachgebildeten Klinkern gepflastert.

schichtliche Bauweisen und Materialverwendung gewonnen. Dabei helfen Werkverzeichnisse, Materialkataloge, Militärdossiers, Bauakten, private oder öffentliche Bildarchive. Wichtig ist bei der Analyse, dass ausgewählte historische Bauwerke vor Ort untersucht und gleichzeitig mit den relevanten Quellen in ihrer baukonstruktiven Umsetzung verglichen werden.

Wege können als so genannte „Auto-Indikatoren“ Aufschluss über ihre Entstehungs- und Baugeschichte geben. Eine solche Selbstauskunft setzt jedoch das Erkennen von Indikatoreigenschaften der Bauwerke voraus. Das zu einer Bauaufnahme gehörende Aufmaß ist dabei als eine erste Ausgangsgröße anzusehen. Jede Beobachtung, die aufgezeichnet wird, gibt Anlass für weite-

re Fragen, die zu neuen Antworten führen. Daraus ergibt sich so etwas wie ein „stimulierter Dialog“, der – einmal begonnen und dokumentiert – jederzeit wieder aufgenommen werden kann, und der sich auch durch Wissenschaftler angrenzender Disziplinen verfolgen lässt. Erstmals werden daher für diese kulturelle Hinterlassenschaft anhand ausgewählter Beispiele Bestandsaufnahme- und Dokumentationsmethoden entwickelt. Ergänzende Bauaufnahmen bilden dabei neben dem Quellenstudium das Gros der Forschungsarbeit. Umfangreiche Geländeuntersuchungen sind nötig, um die historischen Aufbauten in ihren Stärken und die jeweiligen Baustoffe eindeutig zu analysieren. Eine richtige Bestimmung der Baumaterialien ist entscheidend für die Qualität der Ergebnisse und damit unerlässliche Basis für gartenlandschaftsbauliche Studien dieser Art. Örtliche Erfassungsarbeiten sind besonders zeitaufwendig, zumal die Anlagen

meist unter Denkmalschutz stehen. Bohrungen, Schürfungen oder gar Grabungen müssen mit den betreuenden Denkmalbehörden eng abgestimmt sein. Die Auswertung der vor Ort ausgeführten Bauweisen und ablesbaren Arbeitstechniken wird durch Quellen wie etwa Chausseekarten und Konstruktionspläne, Bauanträge und historische Stadtansichten oder Gemälde und Kupferstiche ergänzt. Das praktische Wissen der Gartendenkmalpflege im Umgang mit geschichtlichen Baumaterialien und Bauweisen fließt hier ein. Durch verbesserte Methoden der Bestandserfassung werden Kenntnisse über historische Bauweisen und Materialverwendung gewonnen, durch welche wiederum die Methoden der Bestandserfassung verfeinert werden können.

Die vorliegenden Ergebnisse sind für eine äußerst vielfältige praktische Anwendung relevant. Sie dienen der zukünftigen Erfassung und Sanierung so genannter geschichtlicher Freiraumobjekte. Sie lassen sich weiterhin für die Entwicklung besonderer Untersuchungsinstrumente und -methoden nutzen und geben für die notwendigen Pflegekonzepte wichtige Hinweise. Ebenso liefern sie Informationen über die „Kultur der Sanierung“, indem sich historische Wiederherstellungsmaßnahmen aus zeitlicher Distanz kritisch bewerten lassen. Viele der überkommenen Geschichtszeugnisse sind gefährdet. Exakte Kenntnisse über die erforderliche Sanierung sind eine wichtige Voraussetzung einer kulturlandschaftlichen beziehungsweise gartendenkmalpflegerischen Garten- und Landschafts-Bauforschung, die dazu beitragen kann, im Dialog mit der Vergangenheit die eigene kulturelle Identität zu begründen. Denn wer keine Erinnerung hat, dem fehlt der Gesprächspartner für die Zukunft.

*Prof. Dipl.-Ing. Heinz W. Hallmann
Dr.-Ing. Jörg-Ulrich Forner
Technische Universität Berlin*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

► www.Gartenpatina/Forschung.de

Ein frühes Abbild des Krebses

Neue optische Verfahren ermöglichen die Darstellung von Enzymen, die für die Ausbreitung von Krebszellen verantwortlich sind

Im Zeitalter der Entschlüsselung des menschlichen Genoms hat sich das Wissen über Funktionen und Funktionsstörungen des menschlichen Körpers wesentlich verbreitert. Insbesondere auf dem Gebiet der Krebsentstehung sind in den letzten Jahrzehnten viele molekularbiologische Zusammenhänge aufgeklärt worden und haben zur Entwicklung neuer Behandlungsansätze geführt.

In das Interesse der biomedizinischen Forschung rücken dabei bildgebende Verfahren, mit denen sich molekulare Vorgänge im Körper darstellen lassen. Das so gewonnene Wissen lässt sich zur Krebsfrüherkennung und -differenzierung nutzen.

Jüngst ist es einer Arbeitsgruppe am Center for Molecular Imaging Research der Harvard-Universität gelungen, ein neues optisches Bildgebungsverfahren zu entwickeln, das mit hoher Empfindlichkeit so genannte „Tumorproteasen“ im Körper nachweist. Die Ausbildung dieser Proteasen, darunter versteht man Eiweiß spaltende Enzyme, ist ein früher Schritt in der Krebsentstehung. Sie wirken nämlich wie kleine Scheren, die das den Tumor umgebende Gewebe „zerschnei-

den“ und den Krebszellen Raum zur Ausbreitung verschaffen. Dies befördert das Einwachsen bösartiger Zellen in umgebende Gefäße und schließlich die Metastasierung.

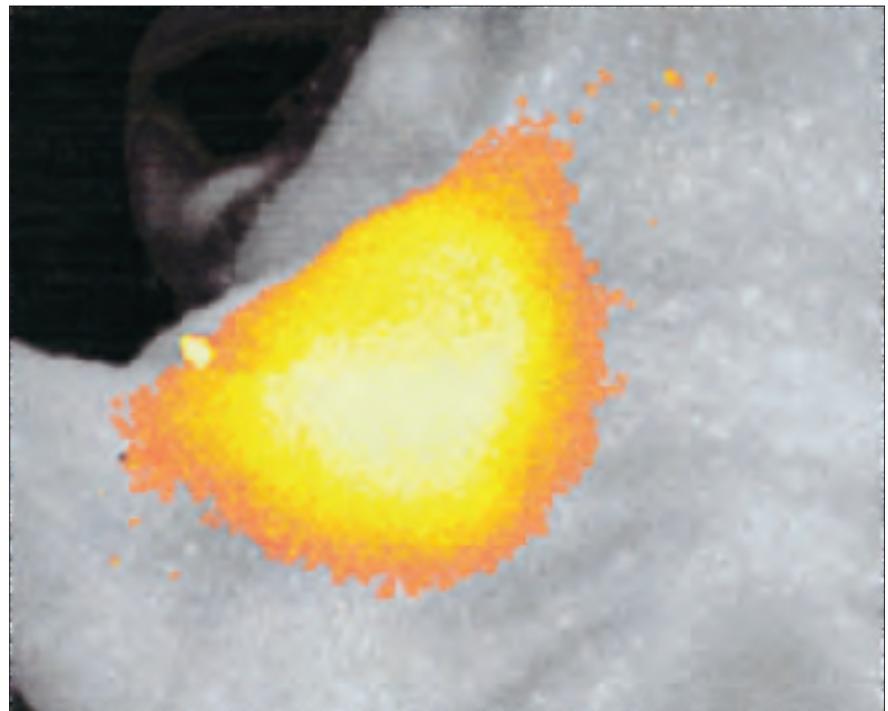
Mit Hilfe „intelligenter“ optischer Kontrastmittel konnte die Arbeitsgruppe Tumorproteasen bildlich erfassen. Die optischen Kontrastmittel werden, vergleichbar einer kleinen Glühbirne, von Tumor-assoziierten Proteasen selektiv „angeschaltet“. Auf diese Weise lassen sich mittels eines Leuchtsignals diejenigen Orte im Körper nachweisen, an denen Proteasen auftreten. In Laboruntersuchungen konnten Tumoren mit einer Größe im Submillimeterbe-

reich erkannt werden. Die optischen Proben ermöglichten es zudem, einzelne Proteasetypen selektiv darzustellen. Die neue Technologie weckt Hoffnungen auf eine bessere Unterscheidung von bösartigen Wucherungen. In der Regel ist ein Tumor nämlich umso aggressiver, je mehr Enzyme er hervorbringt: Das Risiko von tumorfernen Metastasen und damit die Sterblichkeitsrate der Patienten erhöhen sich.

Therapeutische Ansätze, die Funktion der Tumorproteasen zu unterbinden, werden derzeit in verschiedenen klinischen Studien untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass die so genannten „Proteasainhibitoren“ die chemotherapeutischen Medikamente sinnvoll ergänzen könnten. Experimentell ist der hemmende Wirkmechanismus der Mittel mit der neuen optischen Technologie bereits nachgewiesen worden.

Da sich Licht im Gewebe nicht sehr wirkungsvoll ausbreitet, sind zur Anwendung optischer Kontrastmittel am Patienten Detektoren notwendig, die optische Signale innerhalb des Körpers ortsgenau erfassen. In der optischen Bildgebung sind in den vergangenen Jahren entscheidende Fortschritte erzielt worden: Zum einen hat sich die

Durch eine starke Aktivierung des Kontrastmittels kann ein Tumor leichter entdeckt werden. Unsere Abbildung zeigt die rechte Brustregion einer Nacktmaus. Die Fluoreszenzbildgebung macht einen etwa zwei Millimeter großen Tumor sichtbar.



Über das Leben mit Kamelen

Traditionelle Hirtenkulturen betrachten eine enge soziale Bindung zu ihren Tieren als zentralen Bestandteil ihrer Kultur

Lichterzeugung durch neue Lasertechnologien in bedeutsamer Weise weiterentwickelt. Zum anderen können moderne Kameras Lichtsignale wesentlich empfindlicher aufzeichnen. Zusammen mit diesen Technologien kommen innovative mathematische Rekonstruktionsrechnungen zum Einsatz. Mit diesen lassen sich erstmals Prinzipien der Schichtaufnahme in der optischen Bildgebung anwenden und Schnittbilder vergleichbar der Computer- oder Magnetresonanztomographie vom Körper anfertigen. In Kombination mit der beschriebenen Kontrastmitteltechnologie ist damit eine dreidimensionale Erfassung des Proteasenvorkommens ohne körperliche Eingriffe in naher Zukunft denkbar.

Angesichts der Lichtabsorption im Gewebe ist eine Anwendung der optischen Bildgebung am ehesten im Bereich der Brustkrebsdiagnostik denkbar. In ersten klinischen Versuchen ist eine Schnittbilduntersuchung der Brust mit Hilfe der so genannten „diffusen optischen Tomographie“ (DOT) gelungen. Prinzipiell erlaubt es diese Technologie aber auch, Hirn- und Lungentumoren oder bösartige Geschwülste im Bereich der Extremitäten zu untersuchen.

Weitere Anwendungen ergeben sich durch eine Kombination dieser Technologie mit endoskopischen oder chirurgischen Diagnoseverfahren, etwa bei der Darstellung kleiner Darmpolypen, die als Vorstufe von Darmkrebs gelten.

Als Ergänzung zur gängigen Magnetresonanztomographie könnten die neuen Technologien wichtige Zusatzinformationen auch für andere Krankheitsbilder bieten, bei denen die molekularen Grundlagen eine Rolle spielen: arteriosklerotische Gefäßwandveränderungen im Rahmen der Herzinfarkt Diagnostik und -prävention oder immunologische Krankheitszustände wie die rheumatoide Arthritis.

*Dr. Christoph Bremer
Universität Münster*

Unsere Gesellschaft ist von einer sehr zwiespältigen Einstellung zu ihren Haustieren geprägt. Heimtiere wie Hund und Katze werden in Bezug auf Zuneigung und ärztliche Betreuung fast wie Artgenossen behandelt – aber an unsere landwirtschaftlichen Nutztiere besteht kaum emotionale Bindung. Diese werden, vor allem auch von Wissenschaftlern, immer mehr als Maschinen verstanden, deren Wesen sich in Zahlen und Produktivitätsindizes ausdrücken lässt. Erst seit Beginn der BSE-Krise ist die Ethik der Tierhaltung wieder

zum Gesprächsthema geworden. Einen interessanten und lehrreichen Kontrast zu der für industrielle und postindustrielle Gesellschaften typischen emotionalen Abschottung von ihren Nutztieren bieten traditionelle Hirtenkulturen. Im englischen Sprachgebrauch auch Pastoralisten genannt, sind dies Gesellschaften, deren Existenzgrundlage auf der Viehzucht beruht und die ihre enge soziale Beziehung zu bestimmten Tierarten als zentralen Bestandteil ihrer Kultur verstehen. Für sie sind Tiere Mitkreaturen, mit denen sie im engen physischen



Kontakt leben, denen sie Fürsorge und Respekt entgegenbringen und an deren Bedürfnisse sie ihre Lebensweise und sogar ihre Sozialstrukturen angepasst haben.

Beispiele dafür sind viele afrikanische Ethnien, wie die Fulani, deren Entstehungsmythos besagt, dass sie von Gott geschaffen wurden, um Rinder zu betreuen. Sie sehen die Kuh quasi als ihre „Mutter“ an, da sie alles zur Verfügung stellt, was sie zum Leben brauchen. Eine ähnliche Auffassung findet sich bei anderen Rinderkulturen, wie den Massai, den Dinka und den Nuer, aber auch im Hinduismus.

Aber das Rind ist nicht die einzige Tierart, der in vielen traditionellen Kulturen tiefer Respekt entgegengebracht wird. Für die mexikanischen Tzotzil-Indianer ist beispielsweise das Schaf heilig, und auch das einhöckrige Kamel oder Drome-

dar inspiriert enorme Wertschätzung in Kulturen, die auf seine Zucht spezialisiert sind. Eine solche Haltung zeigt sich beispielsweise bei den Raika, eine in Rajasthan, im Westen von Indien beheimatete hinduistische Kaste, die sich seit Generationen der Dromedarzucht verschrieben hat. Ihrem Entstehungsmythos zufolge wurde der Urvater der Gemeinschaft von Gott Shiva speziell dafür erschaffen, das erste Dromedar – das Shivas Gattin Parvati gerade aus Lehm geformt hatte – zu betreuen. Aus diesem Selbstverständnis heraus fühlen sich die Raika auch heute noch für das Wohlergehen des Kamels verantwortlich, und es ist für sie undenkbar, diese Tiere zu schlachten oder ihr Fleisch zu verzehren. Überhaupt ist für die Raika die Nutzung des Kamels mit zahlreichen „Tabus“ eingeschränkt. So darf auch die Milch nicht verkauft werden, denn sie ist dem Eigengebrauch vorbehalten und kann höchstens an Bedürftige abgegeben werden. „Milch verkaufen ist wie Kinder verkaufen“ besagt eine altertümliche Regel. Die Weiterverarbeitung der Milch in Joghurt oder

Käse wird abgelehnt. Auch werden Wolle und die Produkte des toten Tieres – Leder und Knochen – nicht kommerziell genutzt. Der Verkauf von weiblichen Tieren ist ebenfalls verpönt, denn diese gelten gewissermaßen als Gemeingut, das an niemanden außerhalb der Kaste abgegeben werden darf und nur bei Hochzeiten als Mitgift den Besitzer wechselt. Erlaubt ist dagegen der Verkauf von männlichen Tieren und von Dung.

Wie sind diese – auf den ersten Blick irrational erscheinenden – Nutzungsbeschränkungen oder Tabus entstanden? Sind sie religiös bedingt – stellen sie gewissermaßen eine Übertragung der hinduistischen Kuhverehrung auf eine andere Spezies dar –, oder sind sie in Reaktion auf bestimmte ökologische und ökonomische Gründe entstanden, also rationaler Herkunft? Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurde die Beziehung der Raika zum Kamel zunächst mit der anderer Kamelpastoralisten verglichen. Dabei ergab sich, dass Dromedarzüchter, deren Siedlungsraum sich von Mauretanien im Westen bis zur indischen Thar-

Unterwegs in Indien: Mensch und Tier leben hier in einer besonders engen Gemeinschaft miteinander. Für die Raika-Hirten im Westen des Landes zum Beispiel ist die Dromedarzucht weit mehr als ein Lebensunterhalt.





Wüste im Osten erstreckt, sich in Bezug auf ihre Nutzungsweise in drei Hauptgruppen einteilen lassen.

Bei kuschitisch-stämmigen Gruppen in Ost- und Nordostafrika, wie den Somali, Rendille und Gabra, steht die Milchproduktion im Mittelpunkt, und die Haltung ist darauf ausgerichtet, dieses Erzeugnis zu maximieren. Alle anderen Produkte sind nebensächlich. Kamele werden zwar auch als Lasttiere eingesetzt, aber das Reiten ist tabuisiert. Eine Besonderheit der nicht-islamisierten Gruppen dieser Region ist ihre Nutzung des Bluts von lebenden Tieren. Auch bei ihnen ist der Umgang mit dem Kamel stark ritualisiert – zum Beispiel ist Frauen und sexuell aktiven Männern das Melken untersagt, und viele kamelbezogene Handlungen dürfen nur an bestimmten Wochentagen durchgeführt werden. In Arabien und bei nordafrikanischen

Ethnien arabischer Abstammung liegt dagegen ein pragmatisches Mehrnutzungssystem vor; die Produktpalette umfasst neben Milch und Fleisch die Nutzung als Pack- und Reittier, Dung als Brennstoff, Wolle, Knochen, Leder und sogar die Zecken zum Füttern der Falken. Je nach Bedarf werden praktisch alle Produkte – bis auf das vom

Islam verbotene Blut – in unterschiedlicher Gewichtung genutzt. Unter den wenigen auf Kamelzucht spezialisierten Ethnien in Asien steht dagegen immer die Nutzung des

Kamels als Transportmittel im Vordergrund. Trotz dieser Unterschiede gibt es auch viele Gemeinsamkeiten. Ähnlich wie die Raika haben auch alle anderen Ethnien interne Regelwerke entwickelt, die den Verkauf oder die Abgabe von weiblichen Kamelen außerhalb der Gemeinschaft verhindern. Damit passen sie sich an die Fortpflan-

zungsrates dieser Art an, die niedriger ist als die des Menschen. Um das langfristige Überleben zu sichern, sind solche Bestimmungen daher Voraussetzung. So kommt es dazu, dass Kamele nur bei Eintritt in bestimmte Lebensabschnitte wie Geburt, Beschneidung, Hochzeit oder Tod der Eltern den Besitzer wechseln.

Die extreme Hochachtung für das Kamel teilen die Raika mit anderen ethnischen Gruppen. Für die äthiopischen Afar ist der Tod eines Kamels ein schlimmerer Schicksalsschlag als der Tod eines Sohnes, in Rajasthan und bei den Tuareg symbolisiert das Kamel die Liebe, bei den Arabern kennt nur das Kamel den tausendsten Namen von Allah. Diese Wertschätzung ist sicher Resultat einer extremen Abhängigkeit, die Mensch und Kamel zu einer Überlebensgemeinschaft zusammenschweißt.

Wie aber ist es zu erklären, dass in Ostafrika das Dromedar hauptsächlich als Milchspender angesehen wird, während es in Indien primär als Transporttier gilt? Um diese Frage zu beantworten, wurde die

Bei den Afar ist der Tod eines Kamels ein schlimmerer Schicksalsschlag als der Tod eines Sohnes



Beziehung zwischen Mensch und Dromedar bis zu ihrem Ursprung, der Domestikation, zurückverfolgt und der anschließende Verbreitungsprozess rekonstruiert.

Die Haustierwerdung des Dromedars fand im 3. Jahrtausend v. Chr. im Süden der arabischen Halbinsel statt und ist archäologisch bislang spärlich dokumentiert. Es scheint aber wahrscheinlich, dass neben anfänglicher Fleischnutzung auch die Verwertbarkeit von Wolle und Dung dazu den Anstoß gaben.

Schon vor der Entdeckung seines Nutzens als Transportmittel gelangte das Dromedar in das Horn von Afrika, wo sich die Milchnutzung herausbildete und die ausgezeichnete Adaptation des neuen Haustieres bessere Voraussetzungen und Überlebenschancen als bei anderen Vieharten bot.

Auf dem asiatischen Kontinent ist in erster Linie die militärische Nutzung für die Verbreitung des Dromedars verantwortlich. Die mit den muslimischen Eindringlingen konfrontierten Maharajahs der Wüstenkönigreiche im jetzigen Rajasthan

entdeckten das Potenzial des Tieres für die Kriegsführung in der Wüste und begannen – wahrscheinlich erst ab dem 17. Jahrhundert – mit der systematischen Zucht von Kamelen, die sie in die Hände der Raika legten. Ob sich das Kamelspezialistentum der Raika lokal entwickelte oder sie zusammen mit dem Dromedar vom Westen (Afghanistan oder Iran) nach Rajasthan gelangten, lässt sich nicht mit Sicherheit nachvollziehen, obwohl einige Elemente ihrer Mythen letztere Option näher legen. Fest steht, dass die Maharajahs zu Beginn des 20. Jahrhunderts ihre Kamelzuchten auflösten und die Tiere anschließend in den Besitz der Raika übergaben. Zwar war die militärische Bedeutung des Kamels erheblich reduziert worden, aber es bildete sich eine neue Rolle als Zugtier für zweirädrige Karren heraus, die einen weiteren Absatz garantierte. Bei näherer Untersuchung verlieren viele der Nutzungsrestriktionen ihren mysteriösen Charakter. Sie sind begründet im historischen Entstehungsprozess des indischen Dromedarhirtentums, seiner einseitigen Ausrichtung auf die Produk-

Die Fortpflanzungsrate der Kamele ist niedriger als die des Menschen. Deshalb haben die Raika – ähnlich wie andere Ethnien – Regeln entwickelt, die den Handel mit weiblichen Tieren außerhalb der Gemeinschaft verhindern. So stehen auf dem Kamelmarkt im indischen Pushkar ausschließlich männliche Tiere zum Verkauf. Weibliche Tiere werden lediglich bei Hochzeiten als Mitgift der Braut mit in die Ehe eingebracht.

tion von Transportkamelen und einem Umfeld, das durch den Hinduismus und auch die Abgrenzung gegenüber dem Islam geprägt ist. Die hinduistische Grundeinstellung erklärt das Tötungstabu und auch den Verzicht auf die Nutzung der Produkte des toten Tieres, die gegen die in dieser Religion verankerten Reinheitsgebote verstoßen würde. Für die Einschränkungen gegenüber der Milchnutzung sind verschiedene Faktoren verantwortlich. So würde die intensivere Milchnutzung dem expliziten Ziel des Systems, eine maximale Anzahl von Jungtieren zu erzeugen, entgegen 55

stehen. Die Ablehnung der Herstellung von Sekundärprodukten aus Milch ist wahrscheinlich auch auf die damit verbundenen technischen Schwierigkeiten zurückzuführen.

Das Beispiel der Raika demonstriert eindrücklich, dass Tierhaltungssysteme nicht nur von agrarökologischen Bedingungen geprägt werden, sondern vor allem durch ihre historischen Entstehungsprozesse. Sie sind komplexe Gebilde, die aus dem Wechselspiel einer Ethnie mit ihrem jeweiligen Weltbild, einer bestimmten Tierart, den ökologischen Rahmenbedingungen und dem makroökonomischen Umfeld hervorgegangen sind.

Auch heute noch besteht in Rajasthan erheblicher Bedarf an Kamelen als Zugtiere, wobei es den Raika aber immer schwerer fällt, dieser Nachfrage zu entsprechen. In den letzten 20 Jahren sind – bedingt durch Ausdehnung des Bewässerungsanbaus und Ausweisung von Naturschutzgebieten – ihre traditionellen Weidegebiete stark eingeschränkt worden. Aufgrund des schlechten Ernährungszustandes ist die Fortpflanzungsra-

te gesunken, und die schlechten Einkommensmöglichkeiten in der Kamelzucht treibt viele der jungen Raika als ungelernete Arbeitskräfte in die großen Städte.

Hirtenkulturen wie die Raika sind schon immer das Stiefkind von Politikern, aber auch von Agrarwissenschaftlern und einigen Entwicklungsorganisationen gewesen, die diese Systeme für nicht zeitgemäß und unproduktiv halten. Sicher haben sie, im Vergleich zu technisierten Hochleistungssystemen, erheblich weniger Ausschüttung an Cashprodukten wie Milch oder Fleisch zu bieten. Betrachtet man diese Systeme aber aus einer ganzheitlicheren Perspektive, dann schneiden sie vergleichsweise günstig ab. Anders als bei der Massentierhaltung entstehen keine umweltschädigenden Emissionen und Nebenprodukte – im Gegenteil, der Dünger trägt erheblich zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei. Es kommt auch nicht zur Konzentrierung von Tieren in der Hand von Wenigen – dadurch werden Einkommensmöglichkeiten auf dem Lande erhalten. Auch aus der Tierchutzperspektive sind sie positiv zu bewerten, denn durch die Hütelhaltung werden die Tiere in ihren angeborenen Verhaltensmechanismen nur wenig eingeschränkt.

Im Zuge der fortschreitenden Globalisierung wird der Druck auf

diese traditionellen Systeme jedoch noch weiter ansteigen. Für die nächsten 20 Jahre wird die so genannte „Livestock-Revolution“ prognostiziert, in deren Rahmen sich die Ernährungsgewohnheiten der Länder des Südens in Bezug auf tierische Produkte an die des Nordens anpassen sollen. Die gesteigerte Nachfrage von Fleisch und Milch soll durch die Ansiedlung von stadtnahen Massentierhaltungssystemen gedeckt werden – eine Entwicklung, die im Interesse des Nordens ist, da dadurch ein Markt für seine Überschüsse an Futtergetreide und Hochleistungstieren entsteht. Es wird jedoch auch erwartet, dass diese Entwicklung zum ökonomischen Untergang vieler traditioneller Tierhaltungssysteme mit ihrer ethisch höher zu wertenden Einstellung zum Tier beitragen wird. Im Interesse der Erhaltung von Arbeitsplätzen auf dem Lande – aber auch eines positiven Modells einer Mensch-Nutztier-Beziehung – wäre es erstrebenswert zu prüfen, welches Potenzial zur Umstellung dieser traditionellen Systeme auf anerkannt ökologische oder organische Betriebsweisen besteht.

Auch in Bezug auf die indische Kamelzucht besteht wenig Interesse, das traditionelle System zu stützen und so langfristig das Kamel als lokal angepasste und von der Erdölförderung unabhängige Energiequelle zu erhalten. Kamelkarren werden als rückständig angesehen und sollten nach Ansicht vieler Politiker durch Traktoren oder Lastwagen ersetzt werden. Dabei wird aber vergessen, dass letztere nur für die kapitalstärkere Oberschicht erschwinglich sind. Für ärmere Familien garantiert dagegen auch heute noch der Besitz eines einzigen Arbeitskamelens ein zur Ernährung ausreichendes Einkommen – von den ökologischen Vorteilen ganz zu schweigen.

*PD Dr. Dr. med. vet. habil.
Ilse Köhler-Rollefson
Ober-Ramstadt*

Die Ahnen werden als Kamelreiter dargestellt und verehrt, wie hier auf diesem Gedenkstein zur Erinnerung an einen besonders geachteten Vorfahren.



Die Studien wurden von der DFG im Rahmen eines Habilitationsstipendiums gefördert. Die Autorin ist Deutsche Ehrenpreisträgerin des Rolex-Preises für Unternehmungsgeist 2002.

Wissenschaftsphilosophen, sind das eher naturwissenschaftlich ausgerichtete Philosophen oder philosophierende Naturwissenschaftler? Fragt man die Nachwuchswissenschaftlerin Daniela Bailer-Jones (34), so bekommt man schmunzelnd die Antwort: „Ein bisschen von beidem.“ Tatsächlich handelt es sich bei der Wissenschaftsphilosophie um eine Schnittstelle zwischen Natur- und Geisteswissenschaften, die von denen, die sie betreiben, eine solide Ausbildung in beiden Bereichen verlangt. Für die Emmy Noether-Stipendiatin Daniela Bailer-Jones stellte diese Anforderung kein Problem dar, studierte sie doch Philosophie und Physik in Freiburg, Oxford und Cambridge. Bereits in ihrer preisgekrönten Dissertation (1997) setzte sie sich mit dem Gegenstand ihrer aktuellen Forschung auseinander: der Rolle von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Am Anfang stand für sie die banal klingende, aber höchst schwierige Frage, wie menschliches Verstehen eigentlich funktioniert und welche Strategien man innerhalb der Wissenschaften entwickelt hat, um komplexe Inhalte zu erfassen. „Modelle wurden innerhalb der Wissenschaftsphilosophie bis vor einiger Zeit sehr stiefmütterlich behandelt.“ Dabei spielen sie im Forschungsalltag eine wichtige Rolle. Sie können durchaus für sich in Anspruch nehmen, die Realität zu beschreiben oder zu repräsentieren. Das Problem dabei ist jedoch, dass sie eine Reihe ernst zu nehmender Defizite aufweisen. So beschreiben sie die Wirklichkeit meistens nur unvollständig oder stark vereinfacht. Darüber hinaus wird man gelegentlich mit der Schwierigkeit konfrontiert, dass es konkurrierende Modelle gibt, die ein und denselben

Gegenstand repräsentieren. Ein gutes Beispiel dafür ist Licht, das je nach Blickwinkel als Teilchen sowie auch als Welle dargestellt werden kann.

Trotz dieser Mankos erfreuen sich Modelle innerhalb des wissenschaftlichen Alltags jedoch großer Beliebtheit. Warum das so ist, versucht Bailer-Jones interdisziplinär zu erforschen, indem sie die na-



Wie Modelle die Realität beschreiben

Die Wissenschaftsphilosophin Daniela Bailer-Jones

turwissenschaftliche Praxis untersucht und mit kognitionswissenschaftlichen Erkenntnissen verbindet. „Es ist für mich sehr wichtig, meine Forschung in Einklang mit empirischen Daten zu bringen, denn meine Arbeit soll mehr sein als reine Spekulation.“

Dieser Ansatz ist für die deutsche Wissenschaftsphilosophie fast schon revolutionär und trägt Bailer-Jones häufig den Vorwurf ein, ihre Art der Forschung gehöre nicht in die Philosophie. So erinnert sie sich, dass sie während ihrer Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin an den Universitäten Paderborn und Bonn (1998 bis 2000) ab und zu von Kollegen mit dem Satz begrüßt wurde: „Na, was macht denn die Astrophy-

sik?“ „Meine starke Orientierung an der Praxis wird von manchen Berufsgenossen außerhalb der Wissenschaftsphilosophie in Deutschland sehr misstrauisch beäugt. Doch ich bin von diesem Ansatz überzeugt.“ Dass Bailer-Jones es gewohnt ist, Herausforderungen fachlicher und persönlicher Art entschlossen zu meistern, beweist ihr persönlicher Lebensweg. Eine Krebserkrankung zwang sie im August 2001, den Antritt des für Phase I des Emmy Noether-Programms vorgesehenen Aufenthaltes an der University of Pittsburgh auf unbestimmte Zeit zu verschieben. Es folgte eine kräftezehrende Behandlung, die letztendlich sogar die Amputation eines Beines erforderlich machte. Aufgrund der Therapie und der notwendigen Rekonvaleszenz sah sie sich gezwungen, den geplanten Aufenthalt auf ein Jahr zu verkürzen. „Das ist zwar ärgerlich, dennoch bin ich deswegen meinem Schicksal nicht gram.“ Durch die Arbeit, die sie während der Behandlung so gut es eben ging weiterführte, erfuhr sie die nötige Ablenkung. „Meine Familie und meine Arbeit haben mich immer wieder daran erinnert, dass es ein Leben jenseits von Chemo und Krankenhaus gibt.“

Zur Zeit forscht Bailer-Jones als Gastwissenschaftlerin am renommierten Center for the Philosophy of Science der University of Pittsburgh/USA. Am amerikanischen Wissenschaftssystem schätzt sie vor allem die flachen Hierarchien und die Offenheit für neue Ansätze. Bedeutet das langfristig eine Orientierung von Deutschland Richtung Amerika? „Nein, keineswegs“, meint Bailer-Jones augenzwinkernd, „schließlich wächst man doch mit der Herausforderung, oder?“

Barbara Diehl



Von der Wiedergeburt einer großen Bibliothek

In detektivischer Kleinarbeit wird die Bücher- und Handschriftensammlung des Augsburger Stadtschreibers Konrad Peutinger rekonstruiert. Der Zeitgenosse Luthers baute eine der bedeutendsten Humanistenbibliotheken seiner Zeit auf

Er war der Schöpfer der bedeutendsten Gelehrtenbibliothek seiner Zeit auf deutschem Boden – der Augsburger Humanist Konrad Peutinger. Damit gehört der Jurist und Politiker zu jener kleinen Elite hochqualifizierter Fachleute, die in der Zeit um 1500 und in den ersten Jahrzehnten des 16. Jahrhunderts das politische und kulturelle Leben in den süddeutschen Reichsstädten maßgeblich prägten. Durch seine engen Verbindungen zu Kaiser Maximilian I. spielte er auch im Reich eine wichtige Rolle.

Konrad Peutinger (1465 bis 1547), als Sohn eines nicht unermögenden Kaufmanns in Augsburg geboren, legte die Grundlagen für seine erfolgreiche Karriere durch ein Studium in Italien von 1482 bis 1488. In Padua und Bologna, in Florenz und Rom eignete er sich nicht nur hervorragende juristische Fachkenntnisse an, sondern machte sich mit dem gesamten Bildungskanon der damaligen Zeit vertraut. Nach seiner Rückkehr in seine Vaterstadt Augsburg fand er dort 1490 eine Anstellung in der städtischen Verwaltung. Deren Leitung übernahm er 1497, als er zum Stadtschreiber auf Lebenszeit ernannt wurde. In dieser Position hatte er großen Einfluss auf die Politik der mit ihren führenden Bank- und Handelshäusern damals wirtschaftlich blühendsten Kommune im Reich. Als Stadtschreiber vertrat er die Stadt nach außen beim Schwäbischen Bund, auf Reichstagen und beim Kaiser. In der Stadt selbst reformierte Peutinger unter anderem die Verwaltung, das Stadtgericht und die Armenver-



Konrad Peutinger, 1465 bis 1547, sammelte in einer Gelehrtenbibliothek das gesamte Wissen seiner Zeit. Christoph Amberger schuf das Porträt des Humanisten. Besonders wertvolle Bücher schmückte er mit seinem Exlibris (oben).

sorgung. Zudem war er ein gefragter und gutbezahlter juristischer Gutachter für andere Reichsstädte, aber auch für Privatpersonen und Handelsfirmen. 1498 heiratete er Margarete Welser (1481 bis 1552), deren Vater das neben den Fuggern erfolgreichste Augsburger Unternehmen leitete, und etablierte sich dadurch endgültig in der städtischen Oberschicht.

Bereits seit 1491 zählte Peutinger zum engeren Beraterkreis Kaiser Maximilians, der ihn bis zum Ende seiner Regierungszeit (1519) mit zahlreichen politischen und diplo-

matischen Angelegenheiten beauftragte. Ferner übertrug ihm der Kaiser wichtige Aufgaben bei der Realisierung seiner künstlerisch-literarischen Projekte. Auch wenn die Verbindungen zu Maximilians Nachfolger Karl V. lockerer waren, konnte Peutinger seine Position in Augsburg wie auf überregionaler Ebene zunächst noch behaupten. Erst 1534, als nach dem Scheitern seiner Politik, die auf einen Ausgleich zwischen den streitenden Religionsparteien zielte, die Reformation in Augsburg eingeführt wurde, trat er von seinem Amt als Stadtschreiber zurück.

Auf wissenschaftlichem Gebiet wirkte Peutinger vor allem als Herausgeber von Werken der Geschichtsschreibung. Daneben regte er zahlreiche Editionen an oder förderte diese durch die Ausleihe von Handschriften. Eine Pionierleistung war seine 1505 veröffentlichte Sammlung römischer Inschriften aus Augsburg und Umgebung. Peutingers eigenes literarisches Schaffen fiel indes sehr schmal aus. Sein Hauptwerk, eine methodisch überaus fortschrittliche Geschichte aller Kaiser von der Römerzeit bis Maximilian I., an dem er rund zwei Jahrzehnte arbeitete, blieb unvollendet und ist nur in mehreren handschriftlichen Fassungen überliefert.

Als wichtigstes und unverzichtbares Arbeitsinstrument für seine vielfältigen Aktivitäten konnte Peutinger auf seine über mehr als 60 Jahre hinweg kontinuierlich aufgebaute Bibliothek zurückgreifen. Mit zuletzt über 6000 Titeln in rund 2200 Bänden spiegelte sie das ge-

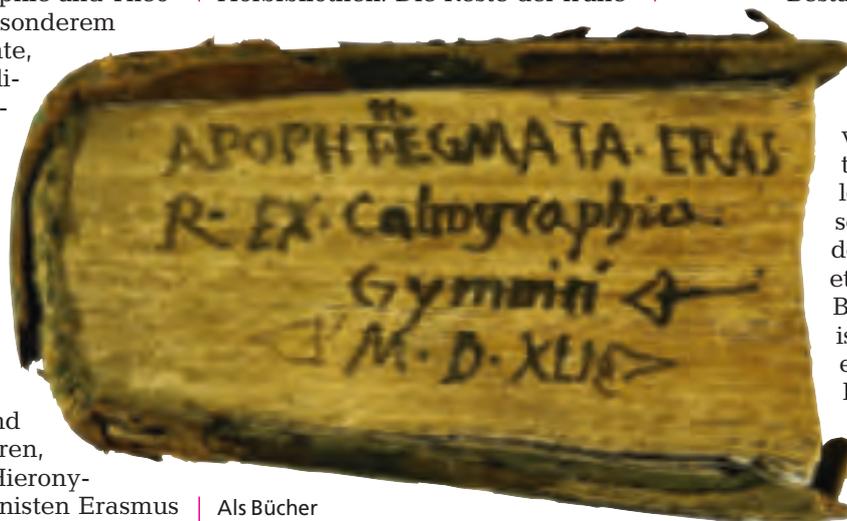
samte erste Jahrhundert des Buchdrucks in seiner ganzen Bandbreite von Gutenbergs „Türkenkalender“ (1454) bis zu Jean Calvins „Catechismus“ (1547) wider. Damit sucht sie in Deutschland, wenn nicht überhaupt nördlich der Alpen, ihresgleichen.

Im Unterschied zu den um die Mitte des 16. Jahrhunderts aufkommenden Sammlungen von bücherliebenden Fürsten und vermögenden Handelsherren wie den Fuggern, die vornehmlich der Repräsentation und nur noch sehr eingeschränkt der Lektüre ihrer Besitzer dienten, stellte die Bibliothek Peutingers in erster Linie eine Arbeitsbibliothek dar. In ihrem breiten inhaltlichen Spektrum entsprach sie den unversessenen Interessen Peutingers. Schwerpunkte bildeten die Grammatik, Dichtung, Geographie, Philosophie und Theologie sowie in besonderem Maße die Geschichte, Rhetorik und Medizin. Neben der antiken und mittelalterlichen Literatur waren die Werke zeitgenössischer Autoren gleichrangig vertreten. Besonders schätzte Peutingers die römischen Schriftsteller Cicero, Plinius den Älteren und Plinius den Jüngeren, den Kirchenvater Hieronymus und den Humanisten Erasmus von Rotterdam. In einem eigenen Raum untergebracht war seine ebenfalls bestens sortierte juristische Bibliothek.

Nach Peutingers Tod wurde seine Bibliothek gemäß testamentarischer Verfügung über mehr als anderthalb Jahrhunderte in Familienbesitz verwahrt. Noch zu Lebzeiten seines letzten männlichen Nachkommens begann die Zerstückelung der Sammlung mit der Veräußerung des bekanntesten Werkes, der „Tabula Peutingiana“. Dies ist die mittelalterliche Kopie einer spätantiken Weltkarte, die schließlich in die Wiener Hofbibliothek gelangte. Als 1718 der letzte Peutingers

starb und die Bibliothek seines berühmten Vorfahren den Augsburger Jesuiten hinterließ, erlitt die Sammlung weitere Einbußen. Bereits unmittelbar nach dem Besitzerwechsel wanderten zahlreiche Bände, darunter so manche große Kostbarkeit, in den englischen Antiquariatshandel. Auch später fanden noch umfangreiche Verkäufe statt. Seitdem die Jesuiten die verbliebenen Bände mit ihren übrigen Büchern vermischten, existiert die ehemalige Peutingers-Bibliothek nicht mehr als geschlossener Bestand.

Die Aufhebung des Jesuitenordens 1773 hatte noch einmal beträchtliche Verluste zur Folge. Als Augsburg 1806 bayerisch geworden war, fielen die wertvollsten Bände, unter ihnen als größte Rarität der erwähnte, nur in diesem einen Exemplar überlieferte „Türkenkalender“, an die Münchener Hofbibliothek. Die Reste der frühe-



Als Bücher noch ohne Verlagseinband und Rückenbeschriftung auskommen mussten, wurden wesentliche Angaben auf dem Buchschnitt festgehalten: Beschriftung von Peutingers Hand auf einem Werk des Erasmus von Rotterdam, gedruckt 1541.

ren Jesuitenbibliothek, welche noch immer wenigstens die Hälfte des ursprünglichen Bestandes der Peutingers-Sammlung enthielt, wurden anschließend der Vorgängerin der heutigen Staats- und Stadtbibliothek Augsburg überantwortet.

Trotz der bereits im 18. Jahrhundert einsetzenden wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem

Leben und Werk Peutingers schritt die Zersplitterung seiner Bibliothek weiter fort. Verständnislose Bibliothekare des 19. und noch des 20. Jahrhunderts lösten vielfach die zu Sammelbänden zusammengebundenen Drucke aus ihren alten Einbänden, um sie in alphabetischer Ordnung einzeln aufstellen zu können. Auf diese Weise gingen die Kenntnisse über die einst wohl umfangreichste Gelehrtenbibliothek ihrer Zeit im deutschen Sprachraum immer mehr verloren.

Unter diesen zunächst eher ungünstig erscheinenden Vorzeichen fand sich eine interdisziplinär ausgerichtete Forschergruppe zusammen, um sich mit dieser einzigartigen Sammlung zu befassen. Ihre Ziele sind die Ermittlung und Beschreibung der noch nachweisbaren Handschriften und Drucke, die Rekonstruktion der verschollenen

Bestände sowie die inhaltliche Erschließung der Handschriften. Die Grundlage dafür bilden noch vorhandene alte Kataloge: an erster Stelle zwei von Peutingers selbst angelegte, in denen allerdings nur etwa die Hälfte des Bestandes verzeichnet ist. Hinzu kommen ein 50 Jahre nach Peutingers Tod erstelltes Gesamtinventar über seine Bibliothek und den übrigen Nachlass und schließlich

umfangreiches Quellenmaterial aus der Mitte des 18. Jahrhunderts, als die Bücher bereits im Besitz der Augsburger Jesuiten waren.

Der Anteil der nachgewiesenen Bücher aus der Peutingers-Bibliothek konnte Schritt für Schritt auf rund 40 Prozent der ursprünglichen Gesamtzahl gesteigert werden. Etwa drei Viertel davon befinden sich in der Staats- und Stadtbibliothek Augsburg. Über namhafte Bestände verfügen außerdem die Bayerische Staatsbibliothek München, die Studienbibliothek Dillingen und die British Library London. Darüber hinaus sind Einzelbände von New



Triumph des Todes: Farbige Illustration aus Konrad Peutingers Gebets- und Stundenbuch. Miniatur auf Pergament, um 1500 entstanden.

Parallel zur Ermittlung der Titel und den Beschreibungen der erhaltenen Exemplare werden die historischen Kataloge herausgegeben, um die Angaben überprüfbar zu machen. Die beiden von Peutinger verfassten Kataloge besitzen zudem als bibliotheksgeschichtliche Dokumente einen eigenen Wert. Die von ihm vorgenommene Katalogisierung stellt geradezu einen Modellfall für den Versuch dar, das sich nach der Erfindung des Buchdrucks explosionsartig vermehrende Wissen zu ordnen und verfügbar zu machen. Durch die Kombination unterschiedlicher, sehr modern anmutender Katalogisierungsformen (wie Fach-, Schlagwort-, Standort- und alphabetischer Katalog) erreichte Peutinger einen Standard der Erschließung seiner Bibliothek, der erst viel später allgemein üblich werden sollte.

Zu den wesentlichen Ergebnissen gehört auch die Neubewertung der zuvor völlig unterschätzten Bedeutung Peutingers als Handschriftensammler. Die rund 200 Bände seiner Sammlung bestanden überwiegend aus mittelalterlichen Kodizes, Abschriften solcher Kodizes sowie einem Handapparat mit Texten aus der juristischen Praxis. Bei einer großen Zahl von Handschriften war ihre Herkunft aus der Peutinger-Bibliothek bislang nicht bekannt.

In der auf drei Textbände und einen Registerband angelegten Rekonstruktion erstet die verschwundene Bibliothek Konrad Peutingers wieder. Die Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen erhalten damit lohnendes Material für Anschlussforschungen, zumal eine Auswertung im Rahmen des laufenden Projekts nur in begrenztem Umfang möglich ist.

*Dr. Hans-Jörg Künast
Dr. Helmut Zäh
Universität Augsburg*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

York bis St. Petersburg weltweit verstreut. Die einstigen Dimensionen der Sammlung Peutingers werden dadurch anschaulich, dass allein die in Augsburg noch vorhandenen Teile den Umfang anderer großer, geschlossen überlieferter Humanistenbibliotheken, wie der des Beatus Rhenanus in Schlettstadt, erreichen.

Wissenschaftliches Neuland betreten die Rekonstrukteure, indem sie den Versuch unternehmen, auch die nicht mehr im Original vorhandenen Titel möglichst genau zu bestimmen. Die Voraussetzung dafür schaffen zum einen die relativ prä-

zisen Angaben der historischen Kataloge, zum anderen die sich in den letzten Jahren rasant entwickelnde, von der DFG schwerpunktmäßig geförderte Katalogisierung von Altbeständen der Bibliotheken auf elektronischem Wege sowie die ebenso zügig voranschreitende Erschließung der Drucke des 15. und 16. Jahrhunderts. Dadurch lassen sich für weitere 40 Prozent des ehemaligen Bestandes recht verlässliche Daten gewinnen, so dass die Teile der Peutinger-Bibliothek, über die keine oder nur vage Informationen vorliegen, lediglich noch 20 Prozent ausmachen.

Wer im Hochsommer sein Auto unter einer Linde parkt, kennt sicherlich folgende Situation: Schon nach kurzer Zeit kleben Dach und Türen, als wären sie mit Zuckerwasser übergossen. Die Verantwortlichen sitzen direkt über dem geparkten Fahrzeug im Baum: Es sind Blattläuse, die sich gewöhnlich vom Siebröhrensaft (Phloemsaft) der Pflanzen ernähren und stark zuckerhaltige Exkrete absondern, die sich wie Tau niederschlagen. Hieraus geht auch der Name des Phänomens hervor: Honigtau. Das zuckerhaltige Exkret einer Schildlaus war es wohl auch, das in biblischen Zeiten das Volk Israel beim Zug durch die Wüste Sinai als Manna vor dem Hungertod rettete.

Chemisch gesehen stellt Honigtau ein Gemisch aus unterschiedlichen Zuckern, Aminosäuren und weiteren Pflanzeninhaltsstoffen dar. Dabei machen Zucker in der Regel mehr als 98 Prozent des Trockengewichtes aus. Während die Pflanzeninhaltsstoffe und Aminosäuren durchweg aus dem Phloemsaft stammen, unterscheidet sich die Zuckerzusammensetzung des Honigtaus deutlich von der des Siebröhrensafte der besiedelten Pflanze. Der Phloemsaft der Pflanzen enthält fast ausschließlich den Zweifachzucker Saccharose. Blattläuse hingegen können verschiedene Zucker, die nicht im Phloemsaft enthalten sind, neu herstellen – wie zum Beispiel den Dreifachzucker Melezitose.

Insbesondere für Ameisen hat der Honigtau eine große Bedeutung. Viele Arten decken den Kohlenhydratbedarf ihrer gesamten Kolonie ausschließlich durch dieses Exkret, das sie in der Regel direkt von der saugenden Blattlaus abnehmen. Deshalb ist es für diese Arten wichtig, sich möglichst ergiebige Honigtauquellen zu erschließen und diese gegen Konkurrenten zu verteidigen. Infolgedessen sollten jene Blattlausarten bevorzugt werden, die besonders viel oder besonders hochwertigen Honigtau produzieren. Von diesem Zusammenleben profitieren auch die Blattläuse. Der Ameisenbesuch verhindert ihre

62 Verschmutzung mit Honigtau und

Von Läusen



und Ameisen

Aus dem Saft ihrer Wirtspflanze produziert die Blattlaus Honigtau. Diese zuckerhaltige Substanz wird von Ameisen besonders geschätzt



schützt sie vor Räubern und Schmarotzern.

Eine geeignete Pflanze zur Untersuchung des komplizierten Beziehungsgefüges zwischen Blattlaus und Ameise ist der Rainfarn, eine mehrjährige Staude aus der Familie der Korbblütler, die bei uns sehr häufig an Wegrändern, auf Schuttfelchen und an Flussufern wächst. Hier leben acht verschiedene Blattlausarten an unterschiedlichen Pflanzenteilen. Die Bunte Stängellaus, die Giftgrüne Streifenlaus, die Schwarze Bohnenlaus und die Große Pflaumenlaus saugen am Stängel und bilden dort große, dichte Kolonien. Die Leuchtendrote Rainfarnlaus und die Kleine Blattlandlaus leben in kleinen lockeren Kolonien an den Blättern. Die Dunkle Rainfarnwurzellaus und die Weiße Wurzellaus schließlich saugen – für das menschliche Auge weitgehend verborgen – in dichten Kolonien am Wurzelhals und an den Wurzeln. Vier dieser Arten leben ausschließlich am Rainfarn, während die anderen Arten auch auf anderen Pflanzen leben können. Im Rahmen eines Projekts an der Universität Bayreuth wurde in den letzten Jahren die Honigtauzusammensetzung der Blattlausarten am Rainfarn analysiert, die Honigtauproduktion der Blattläuse gemessen und das Zusammenleben mit der Schwarzen Wegameise, der häufigsten Ameisenart in Mitteleuropa, untersucht.

Das erste erstaunliche Ergebnis war, dass sich die Zuckerzusammensetzung des Honigtaus zwischen den einzelnen Blattlausarten sehr deutlich unterschied, obwohl alle auf der gleichen Pflanze saug-

Die Schwarze Wegameise (großes Bild) wird von dem besonders hochwertigen Honigtau der Bunten Stängellaus angezogen. Viele Ameisen decken den Kohlenhydratbedarf ihrer gesamten Kolonie durch dieses Sekret. Von dem Zusammenleben profitieren auch die Blattläuse. Von links: die Giftgrüne Streifenlaus, die Bunte Stängellaus, die Schwarze Bohnenlaus und die Leuchtendrote Rainfarnlaus.

ten. Bei fünf Arten war der von der Blattlaus gebildete Dreifachzucker Melezitose mit Anteilen zwischen 45 Prozent und 70 Prozent der dominierende Zucker, während er bei den anderen drei Arten Giftgrüne Streifenlaus, Leuchtendrote Rainfarnlaus, Kleine Blattrandlaus nur in geringen Anteilen (unter 10 Prozent) vorkam. Dafür fand sich bei diesen Arten ein höherer Anteil an Erlöse, ein weiterer Dreifachzucker, von durchschnittlich 10 bis 20 Prozent. Bei allen Arten wurden regelmäßig die Einfachzucker Glucose und Fructose, die Zweifachzucker Saccharose, Maltose und Turanose sowie der Dreifachzucker Raffinose gefunden. Obwohl sich deren mengenmäßige Anteile zwischen den einzelnen Arten ebenfalls unterschieden, konnte kein eindeutiges Muster wie bei der Melezitose und Erlöse nachgewiesen werden. Trehalose, der Blutzucker der Insekten, wurde ebenfalls bei allen Arten gefunden und nahm zwischen 5 und 30 Prozent ein. Überraschenderweise kam im Honigtau auch Xylo-

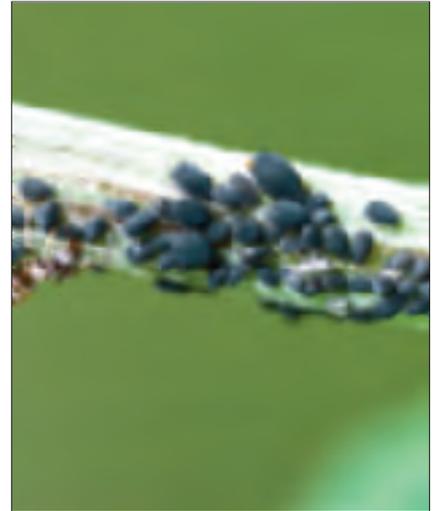
gramm pro Milliliter Honigtau und erreichte bei der Bunten Stängellaus, der Dunklen Rainfarnwurzellaus und der Weißen Wurzellaus mit 80 bis 100 Milligramm pro Milliliter den Höchstwert. Bei den anderen drei Arten lagen die Gesamtzuckerkonzentrationen jeweils unter 30 Milligramm pro Milliliter. Ein hoher Gesamtzuckergehalt war immer auch mit einem hohen Melezitoseanteil verbunden.

Überraschenderweise konnte bei keiner der untersuchten Blattlausarten ein Zusammenhang zwischen dem Alter der Tiere oder der Nährstoffversorgung der Wirtspflanze und der Zuckerzusammensetzung

Die Schwarze Bohnenlaus wird von Ameisen nur dann besucht, wenn keine bessere Alternative in Sicht ist. Leuchtend gelb blüht der Rainfarn von Juni bis September, zumeist an Wegrändern und Flussufern. Er ist für viele Blütenbesucher eine attraktive Nahrungsquelle. An seinen Blättern, Stängeln und Wurzeln saugen allein acht verschiedene Blattlausarten.

geänderte Aminosäureversorgung. Darauf deutet unter anderem die Altersabhängigkeit der Aminosäurekonzentration im Honigtau der Bunten Stängellaus hin.

Auch bei der Honigtauproduktion liegt ein Zusammenhang mit dem Melezitoseanteil und der Gesamtzuckerkonzentration nahe. Je höher diese Werte lagen, desto mehr Ho-



se vor, ein Zucker mit fünf Kohlenstoffatomen, der aus dem Phloemsaft stammt und von Insekten kaum verarbeitet werden kann.

Auch die durchschnittlichen Zuckerkonzentrationen im Honigtau unterschieden sich zwischen den Blattlausarten. Bei der Schwarzen Bohnenlaus und der Großen Pflaumenlaus lag der Gesamtzuckergehalt zwischen 40 und 60 Milli-

beziehungsweise Zuckerkonzentration im Honigtau beobachtet werden. Dies ist umso erstaunlicher, als die Entwicklung und die Vermehrung der Blattläuse stark von diesen Faktoren abhängen. Möglicherweise haben die in der Nahrung reichlich vorhandenen Kohlenhydrate keine Auswirkung auf die Entwicklung und Fortpflanzung der Blattläuse, sondern eher eine

nigttau wurde von den Blattläusen ausgeschieden. Der absolute Spitzenreiter war hier die Art der Bunten Stängellaus, bei der eine Laus im Durchschnitt fast 1000 Mikrogramm Honigtau pro Stunde erzeugt. Auch die Dunkle Rainfarnwurzellaus gab mit 500 Mikrogramm pro Stunde noch ansehnliche Honigtaumengen ab. Dagegen nahm die Produktion bei der Schwarzen Bohnenlaus und



Lebenshilfe der besonderen Art:
Ohne Unterstützung der Ameisen kann sich die Bunte Stängellaus ihres überschüssigen Honigtaus nicht entledigen. Die großen Honigtautropfen sammeln sich am Anus der Blattlaus und führen zu einer lebensbedrohlichen Verschmutzung.

der Großen Pflaumenlaus (zwischen 150 und 200 Mikrogramm pro Stunde) und vor allem bei der Giftgrünen Streifenlaus, der Leuchtendroten Rainfarmlaus und der Kleinen Blattlandlaus (jeweils deutlich unter 50 Mikrogramm pro Stunde) stark ab.

Diese Unterschiede in Honigtauqualität und Honigtaumenge haben deutliche Konsequenzen für die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Blattläusen und Ameisen. Wie sich zeigen ließ, bevorzugt die Schwarze Wegameise Honigtauquellen mit einem hohen Anteil an Melezitose. Allerdings reicht dies allein nicht aus, um eine Blattlausart attraktiv zu machen. Auch die produzierte Menge an Honigtau muss groß genug sein, damit sich der Sammelaufwand für die Ameise lohnt. Konsequenterweise werden deshalb die drei Blattlausarten mit der geringsten Honigtauproduktion bei gleichzeitig niedrigem Melezitoseanteil überhaupt nicht von der Schwarzen Wegameise besucht. Auch bei den anderen Arten ergab sich eine ausgeprägte Hierarchie: Die Ameise zeigt eine deutliche Vorliebe für die Bunte Stängellaus, bei der am intensivsten gesammelt wird, während am anderen Ende der Skala die Schwarze Bohnenlaus nur bei Mangel an Alternativen besucht wird. Dieses Muster hielten die Ameisen auch in so genannten Wahlversuchen bei: Kolonien einer weniger bevorzugten Blattlausart wurden aufgegeben, sobald eine attraktivere Art angeboten wurde. Damit besteht eine regelrechte Konkurrenz zwischen den Blattlausarten. Geben die Ameisen nämlich eine Kolonie einer weniger bevorzugten Art auf, weil sich in unmittelbarer Nähe eine „appetitlichere“ Art angesiedelt hat, zieht dies drastische Nachteile nach sich. Durch das Fehlen der Ameisen können Räuber wieder erfolgreich in der „unterlegenen“ Kolonie fres-

sen, so dass die Überlebensrate sinkt. Produzieren einige Blattläuse nun einen melezitosereichen Honigtau, um Ameisen anzulocken und die damit verbundenen Vorteile zu nutzen? Schließlich bietet die Produktion von Melezitose und die damit verbundene starke Verbindung mit Ameisen viele Vorteile. Trotzdem ist es wahrscheinlicher, dass physiologische Gründe den Ausschlag geben. Ältere Untersuchungen gehen davon aus, dass die Melezitose eine wichtige Rolle bei der Regulation des Wasserhaushalts im Darm der Blattlaus spielt. Auch die Ergebnisse der Bayreuther Studie, die bei allen Arten einen klaren Zusammenhang zwischen Gesamtzuckerkonzentration und Melezitoseanteil zeigen, sprechen für die Hypothese. Der Vorteil für die Blattlaus ergäbe sich damit indirekt aus einer physiologischen Notwendigkeit heraus.

Somit bleibt die Frage, welchen Grund die Vorliebe der Schwarzen Wegameise für Melezitose hat. Untersuchungen in Dänemark haben nämlich gezeigt, dass der Nährwert von Melezitose für die Entwicklung der Ameisenbrut wesentlich geringer ist als der von „normaler“ Saccharose. Eine Vorliebe für hochwertigere Nahrung scheidet somit wahrscheinlich aus. Alternativ könnte die Melezitose eine Signalfunktion besitzen, da ein hoher Melezitoseanteil im Honigtau mit einer hohen Zuckerkonzentration und einer hohen Honigtauproduktion zusammenhängt. Die Bevorzugung der Melezitose wäre in diesem Fall keine Präferenz für diesen speziellen Zucker, sondern die Reaktion auf einen wichtigen Signalstoff. Oder besitzt Melezitose am Ende überhaupt keinen biologischen Wert für die Ameise? Wirkt sie vielleicht auf die Ameisen nur als Droge?

*Prof. Dr. Klaus H. Hoffmann
Dr. Melanie Fischer
PD Dr. Wolfgang Völkl
PD Dr. Matthias W. Lorenz
Universität Bayreuth*

Das Projekt wurde im Normalverfahren der DFG gefördert.

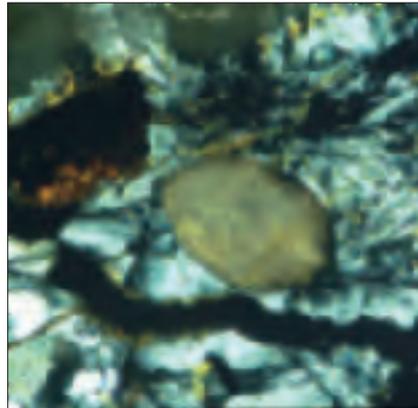


Eine Schatzkammer in Sibirien

Vor 35 Millionen Jahren schlug im Nordwesten Sibiriens ein Komet auf die Erde und hinterließ einen Krater, gut dreimal so groß wie das Saarland: der Popigai. Aus gutem Grund hat ihn die UNESCO zum geologischen Welterbe ernannt

Aus erdgestützter Fernerkundung und Weltraummissionen ist bekannt, dass die Oberflächen nahezu aller festen planetaren Körper eine Vielzahl von Kratern aufweisen, die durch den Einschlag („Impakt“) von Asteroiden und Kometen entstanden sind. Weil diese Projektile mit Geschwindigkeiten von vielen Kilometern pro Sekunde auftreffen, werden kurzzeitig enorme Energiemengen freigesetzt. Dadurch bildet sich ein Krater, große Gesteinsmengen werden ausgeworfen und es entstehen einzigartige, irreversible Veränderungen in Gesteinen und Mineralen (man spricht von „Stoßwellenmetamorphose“). Eindrucksvolles Beispiel für einen Impakt war der Aufprall des Kometen Shoemaker-Levi 9 auf dem Jupiter im Juli 1994.

Auf der Erde kennt man derzeit etwa 160 Impaktkrater und knapp 20 Sedimenthorizonte mit ausgeworfenem Material. Diese Krater liegen überwiegend auf den kontinentalen Schilden. Vredefort in Südafrika ist mit 2023 Millionen Jahren die älteste und mit über 250 Kilometern Durchmesser zugleich größte bekannte terrestrische Impaktstruktur. Gut 60 Prozent der Krater sind mit einem Alter unter 200 Millionen Jahren jedoch wesentlich jünger. Diese Verteilung in Zeit und Raum spiegelt die endogene Dynamik der Erde wider: Erosion und plattentektonische Prozesse verwischen die Spuren der Einschläge, wobei vornehmlich alte und kleine Krater entfernt werden. Andere Strukturen, wie der etwa 180 Kilometer große Chicxulub-Krater auf der Halbinsel Yukatan in Mexiko, sind wiederum unter mächtigen Paketen von jüngeren Sedimenten verborgen und so nur mit geophysikalischen Erkundungsmethoden zu entdecken. Heute ist die gezielte Suche nach den geologischen Zeugnissen von Impaktereignissen vor allem mit der Frage verknüpft, ob Einschläge und ihre kurz- und langfristigen Folgen die Bildung und Entwicklung der Atmosphäre und die Evolution entscheidend beeinflusst haben. So führen die Sedimente, die vor 65 Millionen Jahren abgelagert worden sind, weltweit Spuren des Chicxulub-Einschlags; diese Funde



Rechts: Mikroskopische Aufnahme eines Gesteinsbruchstücks mit einem etwa 0,15 mm großen Diamantkorn, das bei 350 000-fachem Atmosphärendruck aus Graphit entstanden ist. Daneben: Frische Spuren – Wölfe folgen den Geologen als unsichtbare Begleiter bei der Geländearbeit. Oben: In dem verfallenen Zentralcamp lagern noch immer wertvolle Kerne von Explorationsbohrungen.



beweisen die kausale Verknüpfung des Einschlags mit dem scharf begrenzten Massensterben an der Kreide-Tertiär-Grenze.

Die Analyse von terrestrischen Kratern hat aber zusätzlich eine „planetare“ Dimension. Impaktstrukturen auf anderen Körpern des Sonnensystems lassen sich zwar mit Fernerkundungstechniken detailliert in ihrer Morphologie erfassen, für das Verständnis der Tiefenstruktur oder der räumlichen Verteilung von Gesteinsformationen müssen jedoch Beobachtungen an terrestrischen Einschlagskratern herangezogen werden. Sind solche Strukturen gut aufgeschlossen, so bilden sie begehbare, dreidimensionale Modelle für alle Krater im Sonnensystem. Geländearbeit, geophysikalische Methoden und Bohrungen zur Erforschung des Untergrundes wie auch multidisziplinäre Untersuchungen der Gesteinsproben im Labor liefern die Daten, die zu einem allgemein gültigen Modell für die Bildung von Kratern zu-

Der mit 35 Millionen Jahren relativ junge Popigai-Krater wurde durch Erosion kaum verändert

konzentrisch angeordnete Gräben, auch ein Zentralberg kann ausgebildet sein. In Popigai finden sich auf einem Areal, gut dreimal so groß wie das Saarland, phantastische Aufschlüsse mit typischen Impaktgesteinen. Einige davon entstehen beim Einschlag in Sekundenschnelle aus dem Material, das nach der

sammengefügt werden. Unter den terrestrischen Impaktstrukturen nimmt der mit 35 Millionen Jahren relativ junge Popigai-Krater im Nordwesten Sibiriens mit einem Durchmesser von knapp 100 Kilometern eine Sonderstellung ein. Popigai ist die einzige durch Erosion kaum veränderte und daher vollständig erhaltene komplexe Impaktstruktur auf der Erde. Komplexe Impaktstrukturen unterscheiden sich von den weit kleineren, einfachen oder schüsselförmigen Kratern durch ringförmige Aufwölbungen und

Druckentlastung im Kraterbereich auf mehr als 2000 Grad Celsius erhitzt worden ist. Andere hingegen sind Trümmergesteine und stellen eine bunte Mischung aus beim Auswurf miteinander vermengten Komponenten dar und stammen aus unterschiedlichen Tiefenbereichen des Kraters. Die Dimensionen der Fragmente reichen von der Größe eines Sandkorns bis zu einigen zehner Metern – die Vermengung und Zerkümmern des Materials lässt die gewaltigen Kräfte erahnen, die bei dem Einschlag wirksam geworden sind. In Popigai bilden Impaktgesteine entlang der Flussufer Steilwände, deren Farbpalette je nach Lichteinfall von braunen und ockerfarbenen Pastelltönen bis tiefblau variiert.

Nur mit Hilfe von Schlauchbooten war es möglich, die Aufschlüsse entlang des Rassokha-Flusses zu erreichen. Mehr als 200 Kilogramm Gesteinsproben sammelten die Forscher in Popigai – ein riesiges Reservoir auch für künftige Untersuchungen.



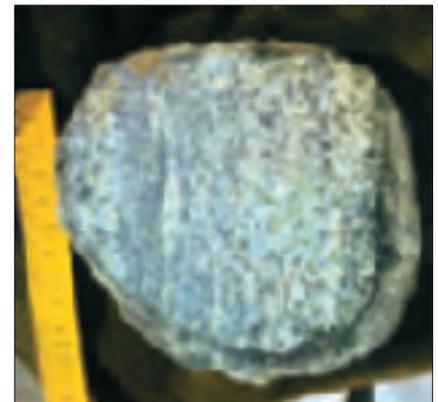


Eine Sonderstellung unter den Kratern nimmt der Popigai aber nicht nur aufgrund dieser exzellenten Aufschlüsse und des guten Erhaltungsgrades, sondern auch wegen des Vorkommens außergewöhnlicher Diamanten ein. Dass Diamant durch Impakt gebildet werden kann, ist seit den frühen 60er Jahren bekannt, als erstmals Diamant in Stoßwellenexperimenten aus Graphit synthetisiert wurde. Im Lichte dieser Entdeckung erkannte man wenig später, dass zumindest ein Teil der bereits seit dem vorigen Jahrhundert bekannten Diamanten in Meteoriten offenbar bei heftigen Kollisionen im Sonnensystem entstanden ist. Am Beginn der 70er Jahre fand dann ein sowjetisches Geologenteam zum ersten Mal irdische Impaktdiamanten, erst in einer Seifenlagerstätte, anschließend auch im Gebiet der Popigai-Struktur, die im Anschluss als Einschlagskrater identifiziert wurde. In der Folgezeit gelang es russischen Wissenschaftlern, in zahlreichen Kratern auf dem Gebiet der ehemaligen UdSSR, aber auch im Nördlin-

70

In einem großen Kalksteinblock studieren Expeditionsteilnehmer Gänge aus fein zerriebenem, schwarzem Trümmermaterial. Rechts: Während des Auswurfs wurde diese „Gneisbombe“ in der Explosionswolke über dem Einschlagskrater mit Gesteinsschmelze überzogen.

ger Ries Impaktdiamanten nachzuweisen. Diese treten in den Farbvarietäten farblos, weiß, gelb, grau und schwarz auf und sind aus Graphitblättchen und -körnern entstanden, die in kristallinen Gesteinen (über 2 Milliarden Jahre alte Gneise) des Kratergebietes vorkommen. Die Diamanten sind nicht schleifwürdig, haben aber im Vergleich zu gewöhnlichen Diamanten eine etwas größere Härte. Für industrielle Zwecke (Bohr-, Schleif- und Poliermittel) ist diese Eigenschaft von großem Interesse. Zwischen 1970 und 1986 wurde in Popigai ein ausgedehntes geologisches Untersuchungsprogramm durchgeführt, das Geländeaufnahmen, die Niederbringung von etwa 500 gekerkerten Bohrungen und die Über-



führung von vielen Tonnen Gestein an Forschungseinrichtungen im europäischen Teil der UdSSR umfasste. Die extremen klimatischen und geographischen Gegebenheiten im nordwestlichen Sibirien, wo Frost bis minus 50 Grad Celsius auftritt, waren eine außerordentliche Herausforderung. Die Untersuchungen zeigten, dass Popigai mit einem Diamantengehalt von bis zu 5 Karat/Tonne Gestein eine riesiges, kommerziell jedoch nicht sinnvoll nutzbares Diamantenvorkommen ist. Dennoch blieb Popigai für die



Entlang des Rassokha-Flusses finden sich spektakuläre, über 140 Meter hohe Steilwände. Einzelne Gesteinsfragmente erreichen die Größe eines Hauses. Oben links: Zwei Jungadler in ihrem Nest hoch über dem Rassokha. Links: Durch den Einschlag wurden aus dem tiefen Untergrund Gesteins-„Bomben“ ausgeworfen, die nun zusammen mit feineren Bestandteilen Trümmerrmassen bilden.

Sowjetunion eine strategische Ressource, da der Krater weit mehr Diamanten enthält als sämtliche anderen Diamantenlagerstätten der Erde zusammengenommen. Deshalb blieben alle geologischen Untersuchungsergebnisse unter Verschluss. Popigai war ausschließlich sowjetischen Wissenschaftlern zugänglich und ist nach wie vor ein Sperrgebiet.

Erst 1997 konnte eine kleine, wissenschaftlich orientierte deutschkanadisch-russische Expedition nach Popigai stattfinden. Einige Hubschrauberflugstunden vom ganzjährig besiedelten Stützpunkt Khatanga entfernt, wurde auf einer Schotterterrasse des Rassokha-

Flusses ein primitives Basislager als Ausgangspunkt für die Feldarbeiten aufgebaut. Durch Hochwasser schwoll der Fluss innerhalb von Tagen zu einem reißenden Strom an – der die Zelte gefährdete, aber auch zur Freilegung eines Mammutschädels aus einer Sandbank führte. Aufgrund der geographischen Lage wird die Popigaistruktur, die von der UNESCO zum geologischen Welterbe erklärt worden ist, trotz des Diamantenreichtums ein verborgener Schatz bleiben – doch unser Probenmaterial bildet ein schier unerschöpfliches Reservoir für laufende und zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen.

*Priv.-Doz. Dr. Alexander Deutsch
Universität Münster
Dr. Falko Langenhorst
Universität Bayreuth
Prof. Victor L. Masaitis
Karpinsky Geological Institute,
St. Petersburg, Russland*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ist die zentrale Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft. Nach ihrer Satzung hat sie den Auftrag, „die Wissenschaft in allen ihren Zweigen“ zu fördern. Die DFG unterstützt und koordiniert Forschungsvorhaben in allen Disziplinen, insbesondere im Bereich der Grundlagenforschung bis hin zur angewandten Forschung. Ihre besondere Aufmerksamkeit gilt der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Jeder Wissenschaftler, der in einer deutschen Hochschule oder Forschungseinrichtung in Deutschland tätig ist, kann bei der DFG Anträge auf Förderung stellen. Die Anträge werden von Experten begutachtet. Die abschließende Bewertung erfolgt durch die Fachkollegien. Die Mitglieder der Fachkollegien werden alle vier Jahre gewählt.

Bei der Forschungsförderung unterscheidet die DFG verschiedene Verfahren: Im *Normalverfahren* kann jeder Forscher Beihilfen beantragen, wenn er für ein von ihm selbst gewähltes Forschungsprojekt Mittel benötigt. Im *Schwerpunktverfahren* arbeiten Forscher aus verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen und Laboratorien im Rahmen einer vorgegebenen Thematik oder eines Projektes für eine begrenzte Zeit zusammen. Die *Forschergruppe* ist ein längerfristiger Zusammenschluss mehrerer Forscher, die in der Regel an einem Ort eine Forschungsaufgabe gemeinsam bearbeiten. In den *Hilfseinrichtungen der Forschung* sind besonders personelle und apparative Voraussetzungen für wissenschaftlich-technische Dienstleistungen konzentriert.

Sonderforschungsbereiche (SFB) sind langfristige, in der Regel auf 12 Jahre angelegte Forschungseinrichtungen der Hochschulen, in denen Wissenschaftler im Rahmen eines fächerübergreifenden Forschungsprogramms zusammenarbeiten. Neben den ortsbundenen und allen Fächern offen stehenden SFB werden Transregio angeboten, bei denen sich verschiedene Standorte zu einem thematischen Schwerpunkt zusammenschließen. Eine weitere Variante sind Kulturwissenschaftliche Forschungskollegs, mit denen in den Geisteswis-

senschaften der Übergang zu einem kulturwissenschaftlichen Paradigma unterstützt werden soll. Eine Programmergänzung stellen Transferbereiche dar. Sie dienen der Umsetzung der in einem SFB erzielten Ergebnisse wissenschaftlicher Grundlagenforschung in die Praxis durch die Kooperation mit Anwendern.

Forschungszentren sind ein wichtiges strategisches Förderinstrument der DFG. Sie sollen eine Bündelung wissenschaftlicher Kompetenz auf besonders innovativen Forschungsgebieten ermöglichen und in den Hochschulen zeitlich befristete Forschungsschwerpunkte mit internationaler Sichtbarkeit bilden.

Graduiertenkollegs sind befristete Einrichtungen der Hochschulen zur Förderung des graduierten wissenschaftlichen Nachwuchses. Im Zentrum steht ein zusammenhängendes, thematisch umgrenztes Forschungs- und Studienprogramm. Graduiertenkollegs sollen die frühe wissenschaftliche Selbstständigkeit der Doktorandinnen und Doktoranden unterstützen und den internationalen Austausch intensivieren. Sie stehen ausländischen Kollegiaten offen. In *Internationalen Graduiertenkollegs* bieten deutsche und ausländische Universitäten gemeinsam ein strukturiertes Promotionsprogramm an. Zusätzliche Förde-

Abbildungen in diesem Heft

zefaimages/Miles Ertman (Titelbild); Claudia Kempf (S. 3); SFB 512 (S. 4-7); ZEFA-Rauschenbach (S. 8/9); Universität Bielefeld (S. 10, 11); Superbild (S. 12/13); Jennerjahn (S. 14, 16 o.); Klöpffer (S. 15, 16 u.); Privat (S. 17); Hüsken (S. 18/19, 20, 21 u., Rücktitel); Vossen (S. 18/19 u., 20 u., 21 o.); Ohlig (S. 22/23, 23, 24, 25); beegroup (S. 26-29); dpa (S. 30/31); Reuter (S. 31 u.); Rullkötter (S. 32); Engelen (S. 33 o.); Höppner (S. 33 u.); Kotzur (S. 34); Privat (S. 35); Albert-Einstein-Institut (S. 36/37, 38, 39); Wita (S. 40-43); Superbild (S. 44); Fastl/Patsouras (S. 44/45, 46); Forner (S. 47-50); Bremer (S. 51); Köhler-Rollefson (S. 52-56); Privat (S. 57); Stadt Augsburg (S. 58, 59, 61); Künast (S. 60); Hoffmann (S. 62-65); Deutsch, Langenhorst, Masatis (S. 66-71)

rungsmöglichkeiten für den qualifizierten wissenschaftlichen Nachwuchs bestehen im *Heisenberg-Programm* sowie im *Emmy Noether-Programm*.

In den neuen Bundesländern wurden *Geisteswissenschaftliche Zentren* geschaffen, um die dortigen Forschungsstrukturen zu verbessern. Sie sind zeitlich begrenzte Einrichtungen zur Förderung interdisziplinärer Forschung.

Die DFG finanziert und initiiert außerdem Maßnahmen zur Förderung des wissenschaftlichen Bibliothekswesens, stattet Rechenzentren mit Computern aus, stellt Groß- und Kleingeräte für Forschungszwecke zur Verfügung und begutachtet Anträge auf Ausstattung mit Apparaten im Rahmen des Hochschulbauförderungsgesetzes. Auf internationaler Ebene hat sie die Aufgabe der Vertretung der Wissenschaft in internationalen Organisationen übernommen, koordiniert und finanziert den deutschen Anteil an großen internationalen Forschungsprogrammen und unterstützt die wissenschaftlichen Beziehungen zum Ausland.

Eine weitere wesentliche Aufgabe der DFG ist die Beratung von Parlamenten und Behörden in wissenschaftlichen Fragen. Eine große Zahl von Fachkommissionen und Ausschüssen liefert wissenschaftliche Grundlagen für Gesetzgebungsmaßnahmen, vor allem im Bereich des Umweltschutzes und der Gesundheitsvorsorge.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist der Rechtsform nach ein Verein des bürgerlichen Rechts. Ihre Mitglieder sind wissenschaftliche Hochschulen, die Akademien der Wissenschaft, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft, Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz, Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Forschungseinrichtungen von allgemeiner wissenschaftlicher Bedeutung sowie eine Reihe von wissenschaftlichen Verbänden. Zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben erhält sie Mittel vom Bund und den Ländern sowie eine jährliche Zuwendung des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft.

Rund 25 000 Forschungsvorhaben aus allen Wissenschaftsgebieten werden derzeit jährlich von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. In ihrer Geschäftsstelle in Bonn sind über 700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Dienste der Forschungsförderung tätig.



Verbindungsbüros in Washington, Moskau und Peking intensivieren die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit. In Berlin ist die DFG mit einer Außenstelle vertreten. Ihre vorrangige Aufgabe ist die Pflege der Kontakte zu Parlament und Bundesregierung sowie zu den diplomatischen Vertretungen.

redaktionforschung@dfg.de

www.dfg.de