

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft



SPEZIAL 2006 ▶ Leben aus der Tiefe des Raumes ▶ Der Blutdruck und das Alltagsleben ▶ Als der Nordpol noch eisfrei war ▶ Das Monster von Aramberri ▶ Von der turbulenten Geburt der Sterne

DFG

 WILEY-VCH

In diesem Heft

Im bedrohten Bergregenwald

In den tropischen Regen- und Wolkenwäldern der Erde sind einzigartige Pflanzengemeinschaften zu Hause. Doch unter dem Druck von Bevölkerungswachstum, Armut und unkontrollierter Landnutzung sind viele Pflanzenarten bedroht. Am Beispiel Costa Ricas zeigt sich, wie sich wandelnde Klimafaktoren auf das Überleben der Flora und die Zukunft des Ökosystems auswirken. **Seite 5**

Vom Nachleben eines Monsters

Vor 145 Millionen Jahren machte ein 50 Tonnen schweres Meeresungeheuer den Golf von Mexiko unsicher. In dem kleinen mexikanischen Ort Aramberri haben Forscher sein vollständig erhaltenes Skelett entdeckt. Sicher ist, dass es sich um den weltweit größten bekannten Pliosaurier handelt. Viele noch offene Fragen sollen durch die genaue Präparation des Sauriers beantwortet werden. **Seite 32**

Impulse für die Landwirtschaft

Anna von Sachsen war eine ungewöhnlich geschäftstüchtige Renaissancefürstin. Willensstark und planvoll lenkte sie die Geschicke von 70 Gutsbetrieben und trug durch ihr praktisches Wissen über Landwirtschaft und Gartenbau wesentlich zum wirtschaftlichen Erfolg des kursächsischen Hofes in Dresden bei. So wurde sie zu einer Wegbereiterin für die Agrarwirtschaft. **Seite 45**

Inhalt

Eine Frauenquote für die Wissenschaft S. 2	Das Monster von Aramberri S. 32
Wälder im Nebel S. 5	Der gestrickte Hochleistungsrotor S. 36
Leben in luftiger Höhe . . . S. 9	Als der Nordpol noch eisfrei war S. 38
Mandevilles Reise in die weite Welt S. 12	Der Blutdruck und das Alltagsleben S. 42
Die turbulente Geburt der Sterne S. 17	Von den Geschäften der Fürstin S. 45
Vom „Fingerabdruck“ der Wildbiene S. 21	Die Konkurrenz der Bäume S. 49
Stationen einer „Erbfeindschaft“ S. 24	Leben aus der Tiefe des Raumes S. 53
Neue Einblicke in den Fettstoffwechsel S. 29	Die Deutsche Forschungsgemeinschaft . S. 56



Nachrichten aus dem Universum

Einem Feuerwerk gleich scheinen Sterne am Himmel zu explodieren. Ihre Entstehung stellt die Wissenschaft vor viele Fragen (Seite 16). Dass wichtige Bausteine des Lebens von Meteoriten und Kometen aus der Tiefe des Raumes auf die Erde gebracht wurden, darauf weisen neue Studien hin (Seite 53).

Impressum

„forschung **SPEZIAL** 2006“ 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 2007 von „forschung“: 53,50 € (print), 59,50 € (online), 62,15 € (print und online) jeweils inkl. Versandkosten und MwSt.; Chefredakteur: Dieter Hüsken (verantwortlich für den Inhalt, Gestaltung); Redaktion: Dr. Rembert Unterstell; Lektorat: Stephanie Henseler, Angela Kügler-Seifert; Redaktionsassistentz: Mingo Jarree; 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

Leba lesen, Leba lesen, Leba lesen,

Erst in 150 Jahren, so hieß es kürzlich in „Spiegel-Online“ über eine von der „Times“ zitierten Studie der renommierten London School of Economics, würden Frauen über das gleiche Einkommen verfügen wie Männer – vorausgesetzt das derzeitige langsame Tempo bei der Angleichung würde beibehalten. Zwar habe jede Generation von Frauen im Ver-

gleich zur Vorgängergeneration Fortschritte in der Angleichung der Bezüge erzielt, jedoch habe sich dieser Prozess deutlich verlangsamt. Als einen Grund für die weiterhin geringeren Verdienste von Frauen nannten die englischen Wirtschaftswissenschaftler die Babypausen der weiblichen Beschäftigten, die nach der Mutterschaft zudem häufig in Teilzeit arbeiteten.

Doch auch Frauen ohne berufliche Auszeiten, so hieß es in der Studie, würden nach zehn Jahren im Durchschnitt zwölf Prozent weniger verdienen als ihre männlichen Kollegen. Schuld daran sei die Diskriminierung der Frau, der die Politik nicht ausreichend begegne. Das Ergebnis dieser wissenschaftlichen Studie darf man zweifellos als bestürzend bezeichnen. Doch wie hält es die Wissenschaft selbst mit Fragen der Gleichstellung? Auch wenn Besoldungsfragen im deutschen Wissenschaftsbetrieb nicht die zentrale Rolle spielen mögen, so liegt doch vieles im Argen, wie internationale Gutachter bei der Untersuchung des deutschen Forschungssystems feststellten. Als zentrale Organisation für die Förde-

Prof. Dr. Ernst-Ludwig Winnacker

Eine Frauenquote für die Wissenschaft

Die Zahl weiblicher Professoren ist in Deutschland so niedrig wie sonst fast nirgendwo auf der Welt. Wenn sich das Tempo der notwendigen Veränderungen nicht beschleunigt, werden wir erst Ende des Jahrhunderts den Anteil von Wissenschaftlerinnen in Führungspositionen erreichen, den andere Länder bereits heute vorweisen können

rung der Forschung in Deutschland ist die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) sehr darum bemüht, die Repräsentanz von Frauen im Wissenschaftssystem zu fördern und insbesondere die Arbeitsmöglichkeiten des weiblichen wissenschaftlichen Personals zu verbessern. Wer die Internetseite der DFG aufruft (www.dfg.de) kann sich über die verschiedenen Aktivitäten informieren. Dabei wird sie (oder er) feststellen, dass die Förderung von Frauen in der Satzung der Deutschen Forschungsgemeinschaft verankert ist. In der Bonner Geschäftsstelle der DFG, in der immerhin über 750 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig sind, haben sich die Verhältnisse inzwischen derart gut entwickelt, dass angesichts einer

weiblichen Mehrheit sogar über die „Gleichstellung des Mannes“ nachgedacht werden muss, um wieder ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis herzustellen. Dennoch ist dies kein Grund zur Zufriedenheit, wenn man sich die Situation in der Wissenschaft insgesamt anschaut. Bereits die Zusammensetzung der DFG-Gremien lässt erkennen, wie meilenweit wir tatsächlich von „Gleichstellung“ entfernt sind: Acht Vizepräsidenten hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft, doch nur eine Frau wurde von der Mitgliederversammlung in das derzeitige Präsidium gewählt, 39 Senatoren gehören dem wissenschaftspolitischen Gremium der DFG an, doch nur sieben sind weiblich und darunter befindet sich nicht eine Frau aus

den Natur- und Ingenieurwissenschaften! Trotz aller Bemühungen im eigenen Haus, die DFG kann nicht viel besser sein als das System, in dem sie agiert. Und dessen Zustand kann in diesem Zusammenhang nur als jammervoll bezeichnet werden.

Was die Förderung weiblicher Wissenschaftler durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft angeht, so glauben einige, es reiche, einer jungen Forscherin aus DFG-Mitteln ein paar Euro für die Kinderbetreuung zur Verfügung zu stellen. Angesichts solch offenkundiger Naivität haben ausländische Gutachter vor dem Hintergrund eigener Erfahrungen nur den Kopf schütteln können und mit Nachdruck eine Änderung des Systems angemahnt. Dass dies notwendig ist, wird immer deutlicher. Würden wir nämlich das bisherige Veränderungstempo beibehalten, so könnten wir spätestens bis zum Ende dieses Jahrhunderts den Anteil von Forscherinnen in Führungspositionen erreichen, den unsere Partnerländer in der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) schon heute vorweisen können. Diese Perspektive ist ebenso beunruhigend wie jene, die in der eingangs zitierten Studie aufgezeichnet wurde. Was sind daraus für Schlüsse zu ziehen? Angesichts derartiger Entwicklungen darf die Wissenschaft selbst vor radikalen Lösungen nicht zurückschrecken. So muss sie durchaus bereit sein, notfalls auch mit Hilfe einer Quotenregelung das herbeizuführen, was im 21. Jahrhundert mehr als selbstverständlich sein sollte, nämlich die Gleichstellung von Mann und Frau. Die Benachteiligung eines großen Teils des intellektuellen Potenzials unseres Landes können wir uns einfach nicht mehr leisten.



Ernst-Ludwig Winnacker

Prof. Dr. Ernst-Ludwig Winnacker
Präsident der Deutschen
Forschungsgemeinschaft



Am Boden des Wolkenwaldes: Die dicht gedrängten und krummwüchsigen Bäume sind mit Moosen überzogen. Kleines Bild: Die Bromelie hingegen lebt als Aufsitzerpflanze fern vom Waldboden im Kronenraum und speichert das Wasser in ihren rosettenförmigen Blättern.

Wälder im Nebel

Die Bergregenwälder in den tropischen Regionen der Erde bieten Lebensraum für eine faszinierende Pflanzenwelt. Wie das Beispiel Costa Ricas zeigt, üben Klimafaktoren einen großen Einfluss auf die Flora und das gesamte Ökosystem aus

In den Kordilleren Mittel- und Südamerikas, im östlichen und zentralen Afrika, in Indonesien, Malaysia, auf den Philippinen, Papua-Neuguinea und in der Karibik gibt es sie: tropische Nebel- und Wolkenwälder. Sie sind zwischen dem 23. Grad nördlicher Breite und dem 25. Grad südlicher Breite überall dort anzutreffen, wo auf einem schmalen Höhengürtel die Vegetation regelmäßig von dichten Wolken bedeckt wird. Dabei kann die Höhenlage bei wenigen hundert Metern bis zu fast 4000 Metern über dem Meeresspiegel liegen. Die tropischen Wolkenwälder machen heute weniger als ein Prozent der globalen Waldfläche aus. Sie unterscheiden sich von den tropischen Tieflandregenwäldern hauptsächlich durch niedrigeren Wuchs der Bäume und vergleichsweise gerin-



gere Artenvielfalt. Endemische Arten, das sind solche, deren Vorkommen nur auf bestimmte Regionen beschränkt ist, treten hingegen in Wolkenwäldern deutlich häufiger auf. Zum typischen Waldbild gehören Baumfarne in der unteren bis mittleren Vegetationsschicht. Die Kronen der Bäume sind über und über mit Aufsitzerpflanzen, so genannten Epiphyten, bedeckt, die aufgrund der klimatischen Besonderheiten bei ihrer Wasserversorgung nicht vom Waldboden abhängig sind. Diese Pflanzen sind in der Wolkenwaldzone mit der größten Artenvielfalt vertreten. Hierzu gehören vor allem Orchideen, Bromelien (Ananasgewächse), Farne und Moose. Das Klima ist mit durchschnittlich 8 bis 20 Grad Celsius mild bis kühl, die jährlichen Regen-



fälle schwanken zwischen 500 und 6000 Millimetern, können im Extremfall aber bis zu 10000 Millimeter jährlich betragen (im Vergleich dazu fallen in Deutschland etwa 800 Millimeter jährlich). Eine entscheidende Besonderheit des Wasserhaushalts in diesen Gebieten ist der zusätzliche Gewinn von Niederschlägen durch die so genannte Auskämmung von Wolken und Nebel an der Vegetation. In zahlreichen tropischen Regionen, besonders unter dem Einfluss von wechselfeuchtem Klima, sind die Menschen zur Deckung ihres Bedarfs an Trinkwasser oder für die Landwirtschaft auf dieses Wasser angewiesen.

Die weltweite Situation der tropischen Bergregenwälder ist unter dem Druck von Bevölkerungswachstum, Armut und unkontrollierter Landnutzung alarmierend. In den 1980er Jahren erreichte die jährliche Abholzungsrate 2,5 Millionen Hektar. In Kolumbien, einem der Länder mit den flächengrößten Wolkenwäldern in Mittel- und Südamerika, existieren nur noch 10 bis 20 Prozent der ursprünglichen Wälder. Globaler Klimawandel, die Veränderung von regionalem Klima nach großflächigen Entwaldungen, der Verlust und die Zergliederung von Lebensräumen sind zur Bedrohung für viele charakteristische Arten der Wolkenwälder geworden. In Costa Rica, um nur ein Beispiel zu nennen, ist das plötzliche Verschwinden der nur dort heimischen Goldkröte zusammen mit 24 anderen Amphibienarten im Monteverde-Reservat zu beklagen. Bemerkenswert ist, dass es nachhaltige Nutzungsformen für tropische Bergregenwälder gibt. Dazu gehören auch so genannte „Agro-Forestry“-Systeme, bei denen eine gleichzeitige Produktion von Holz und landwirtschaftlichen Erzeug-

Oben: Märchenhaftes Dickicht. Der Wolkenwald wird auch als Elfen- oder Zwergenwald bezeichnet. Die von Moosen besetzten Bäume sind an extrem nasses Klima angepasst. Darunter: Das Kronendach der Baumriesen – hier eine 30 Meter hohe Würgefeige – kann nur mithilfe von Seilen erklommen werden.

Zusammengebrochener Urwaldriese.
Nicht nur im Monteverde-Reservat in
Costa Rica wird der Lebensraum immer
enger. Die tropischen Wolkenwälder
machen heute weniger als ein Prozent
der globalen Waldfläche aus.

nissen auf der selben Fläche angestrebt wird. In einigen Regionen spielt Ökotourismus als indirektes Nutzungspotenzial eine beachtliche Rolle. Kenntnisse über die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen sind dabei dringend erforderlich, um von den vielfältigen Möglichkeiten profitieren zu können, die solche Ökosysteme bieten.

Vor diesem Hintergrund war es das vornehmliche Ziel, am Beispiel Costa Ricas die Zusammenhänge von ökologischen Rahmenbedingungen und Strukturen einschließlich der Artenvielfalt verschiedener Waldformationen in Monteverde zu untersuchen. Das private Reservat, das vom Centro Científico Tropical in San José verwaltet wird, liegt im Nordwesten Costa Ricas und erstreckt sich von etwa 900 bis 1800 Höhenmetern auf beiden Seiten der kontinentalen Wasserscheide Mittelamerikas. Zusammen mit angrenzenden Schutzgebieten bildet es eine zusammenhängende Waldfläche von über 40 000 Hektar.

Der zentrale Gebirgsrücken der Tilarán-Kordillere bildet die kontinentale Wasserscheide zwischen Atlantik und Pazifik. Dabei gibt es große klimatische Unterschiede und eine Vielfalt von Waldtypen. Insofern eignet sich das Monteverde-Reservat auch als ein natürliches Labor, um den Einfluss von Klimaveränderungen auf das Ökosystem zu untersuchen. So ist die Pazifikseite der Kordillere stärker der Trockenzeit von Januar bis Mai ausgesetzt, während die feuchtere Atlantikseite fast ganzjährig unter dem Einfluss der Passatwinde in Wolken gehüllt ist. Die klimatischen Verhältnisse wurden mit Hilfe von sieben Messstationen erfasst, die entlang einer drei Kilometer langen Strecke quer über den Gebirgskamm installiert wurden. Gleichzeitig wurden Struktur und





Zusammensetzung der Wälder im Bereich der Klimastationen untersucht.

Von März 2003 bis Februar 2004 erreichten die Regenfälle an den Westhängen mit 3700 Millimetern „nur“ 60 Prozent der Menge, die auf der östlichen Seite des Gebirgskammes ebenfalls in 1200 Meter Höhe gemessen wurde. Die Kammzone selbst weist ein raues Klima auf. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit und die gewonnenen Niederschläge durch die Auskämmung der Wolken stiegen dort im Vergleich zu den niedrigen Lagen sprunghaft an: Die Menge dieser „horizontalen“ Niederschläge lag mit 3600 Millimetern rund 130-mal höher als im Windschatten der Kor-dillere. Gleichzeitig werden mit abnehmender Höhe die täglichen und saisonalen Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit stärker. Die Messung der Niederschläge im Innern der Nebelwälder

bestätigten diese Verhältnisse. An den wind- und wolkenexponierten Standorten wurden am Waldboden meist höhere Niederschlagswerte registriert als über dem Kronendach. Dieses ungewöhnliche Phänomen auf der Atlantikseite weist auf zusätzliche Wassermengen durch Wolkenauskämmung hin. Auf der Pazifikseite kommt unter dem Kronendach deutlich weniger Regen an als im Freiland, da ein großer Teil des Wassers von den Baumkronen aufgenommen wird

und verdunstet. Die Aufsitzerpflanzen zeigten sich als guter Gradmesser für die beschriebenen Klimaunterschiede. Zahl und Vielfalt dieser Pflanzen sind im gesamten Untersuchungsgebiet sehr hoch, ihre Biomasse (Pflanzen und Humus) kann über 30 Tonnen pro Hektar erreichen. Repräsentative Proben auf Bäumen ergaben, dass die analysierte Biomasse in den windexponierten, feuchten Lagen um mehrere Tonnen pro Hektar höher lag als auf der trockeneren Pazifikseite.



Blick vom Gebirgskamm (oben): Der Nordost-Passat bringt ständig Wolkenmassen mit sich. Von der Höhe aus erscheint die üppige Vegetation als ein grüner Teppich. Erst aus der Nähe werden die Unterschiede sichtbar.

Rechts: Im Kronendach der tropischen Bergregenwälder präsentieren die üppigen Aufsitzerpflanzen ihre Schönheit. Ihr Artenreichtum ist groß trotz der rauen Verhältnisse in diesem stürmischen Lebensraum.

Leben in luftiger Höhe

Studien an Nachtfaltern auf Borneo geben neue Hinweise zum Verständnis tropischer Artenvielfalt und zur Einschätzung der Folgen von Waldzerstörung

Die Zahl der epiphytischen Arten sank unter den trockeneren Bedingungen etwa um die Hälfte. In der Nähe des Gebirgskammes wurden bis zu 69 verschiedene Gefäßpflanzenarten pro Baum gezählt. Epiphytische Moose reagierten dabei besonders empfindlich auf die Abnahme von Feuchtigkeit.

Die Wuchsleistung der Bäume zeigte die entgegengesetzte Tendenz. Die Wälder auf den exponierten Steilhängen und auf sumptigen Plateaulagen der Kammzone sind sehr dicht. Sie erreichen nur Baumhöhen zwischen fünf und 15 Metern. In den geschützten, tieferen Lagen betragen die Baumhöhen dagegen über 30 Meter, die Anzahl der Baumarten nimmt außerdem zu. Auf der Pazifikseite wurden bis zu 33 Arten auf einer Fläche von nur 500 Quadratmetern erfasst (holzige Pflanzen mit einem Stammdurchmesser > 5cm in 1,3 Meter Höhe). Das sind bereits mehr als die Hälfte aller in Deutschland heimischen Baumarten. Zudem findet in den Höhenlagen auf der wechselfeuchten Pazifikseite ein markanter Artenwechsel statt.

Die wöchentliche Kontrolle eines drei Kilometer langen, rund 15 Hektar großen Waldstreifens über einen Zeitraum von fast zwei Jahren zeigte eine beeindruckende Walddynamik. Unter dem ständigen Einfluss von Passatwinden und hohen Niederschlägen bestimmen regelmäßige „Störereignisse“ die Entwicklung des Wolkenwaldes. Diese Geschehnisse reichen vom Zusammenbruch einzelner Bäume über die allmähliche Erosion des Kronendaches bis hin zum Verlust ganzer Waldflächen durch Erdbeben. Am stärksten betroffen sind staunasse, windexponierte Standorte und Steilhänge. Nach bilanzierender Hochrechnung vorliegender Ergebnisse wird eine Waldgeneration dort in weniger als 200 Jahren vollständig erneuert.

*Prof. Dr. Achim Dohrenbusch
Achim Häger
Universität Göttingen*

Das Projekt wurde im Normalverfahren der DFG gefördert.

► www.unep-wcmc.org



Die Zerstörung unberührter tropischer Regenwälder schreitet rasant voran. Daher spielen sekundäre Wälder, das heißt Waldökosysteme, die nach mehr oder minder starker Beeinflussung des Menschen durch natürliche Regeneration oder Wiederaufforstung als „Ersatz des Urwaldes“ entstehen, eine wichtige Rolle bei Überlegungen zum Naturschutz in Tropenregionen. Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlich starker Eingriffe des Menschen auf die Organismen tropischer Lebensräume beschränkten sich bislang weitgehend auf Pflanzen oder Wirbeltiere. Welche Konsequenzen sich für die viel artenreicheren Insekten oder andere Wirbellose ergeben, wurde hingegen wenig beachtet.

Der Mount Kinabalu in Nordborneo, der höchste Berg zwischen

Ein zünslerartiger Nachtfalter vom Mount Kinabalu. Anders als die meisten anderen Schmetterlingsarten lebt dieser Nachtfalter im Raupenstadium auf Steinen in schnell fließenden Gewässern. Ein Seidengespinnt schützt die Raupe, die dort Algen abweidet, vor Verdriftung.

dem Himalaya und den Gebirgen Neuguineas, ist ein so genannter „hotspot“ für Biodiversität. Er beherbergt eine besonders hohe Artenvielfalt mit einem hohen Anteil an nur hier vorkommenden Lebewesen. Während in tropischen Bergregionen die meisten Tiergruppen mit zunehmender Höhe deutlich artenärmer werden, findet sich bei vielen Nachtfalterfamilien der höchste Artenreichtum nicht in den Tieflandwäldern, sondern im Bereich der unteren Bergregenwaldzone in etwa 1000 bis 1500 Metern

Höhe. Eine Forschergruppe der Universität Bayreuth untersuchte daher hier, wie tropische Nachtfalter – als Stellvertreter für die besonders artenreiche Gruppe pflanzenfressender Insekten – auf Veränderungen ihrer Umwelt reagieren. Die Studien an Nachtfaltern boten dabei einen methodischen Vorteil: Weil sich die Tiere mittels UV-abstrahlender Lichtquellen anlocken ließen, konnten standardisierte Erhebungen auch in schwer zugänglichen Lebensräumen erfolgen.

Innerhalb tropischer Wälder gelten Baumkronen als artenreichster Vegetationsbereich, weil hier ein Großteil der pflanzlichen Photosyntheseleistungen erbracht wird. In den Wäldern Nordborneos hingegen wiesen mehrere besonders vielfältige Nachtfaltergruppen, wie zum Beispiel die spanner- und zünslerartigen Nachtfalter, in Bodennähe einen vergleichbaren oder sogar höheren Artenreichtum auf. Ursachen hierfür sind die Ungeießbarkeit von Blättern und die hohe Anzahl von natürlichen Feinden, wie Ameisen und Vögel, die pflanzenfressenden Schmetterlingen ein Leben in den Wipfeln verleiden. Stark auf Blütennektar als Nahrung angewiesene Nachtfalter waren wiederum im Baumkronenbereich arten- oder individuenreicher vorhanden, da hier das Blütenangebot am reichhaltigsten ist. Eine besonders deutliche Bevorzugung für ein Leben in luftiger Höhe, zeigten Schwärmer, die hochmobil, langlebig und auf kontinuierlichen Zugang zu Blütennektar angewiesen sind. In den Baumwipfeln kamen sechsmal so viele Schwärmer vor wie in Bodennähe. Beobachtungen zeigten, dass die Verfügbarkeit bestimmter Nahrungsressourcen in den einzelnen Vegetationsbereichen entscheidend zur vertikalen Verteilung von Insekten in Regenwäldern beiträgt.

In den meisten tropischen Ländern prägen aufgrund der ökonomischen und demographischen Situation vom Menschen geformte Lebensräume, wie Sekundärwälder und Agroökosysteme, die Landschaft immer stärker. Zugleich werden naturnahe Lebensräume auf immer kleinere, inselartige Schutz-

gebiete zurückgedrängt. Daher müssen moderne Naturschutzkonzepte zunehmend Sekundärwälder oder Agrargebiete als Puffer und zur Vernetzung von Schutzgebieten berücksichtigen. Das Potenzial solcher vom Menschen geschaffener Lebensräume für pflanzenfressende Insekten untersuchte die Forschergruppe anhand der Vielfalt zünslerartiger Nachtfalter. Im Mount-Kinabalu-Nationalpark, auf einer Fläche von 730 Quadratkilometern, konnten über 850 Zünsler-Arten ausgemacht werden – mehr als in ganz Europa auf einer Fläche von 10,5 Millionen Quadratkilometern vorkommen. Dies verdeutlicht den enormen Artenreichtum von Nachtfaltern in tropischen Breiten. Darüber hinaus unterstreichen diese Zahlen, welche Gefahr der Verlust solcher Artengemeinschaften für die weltweite Biodiversität darstellt.

Untersuchungen am Rande des Nationalparks zeigten zudem eine bemerkenswerte Ähnlichkeit des Artenreichtums unterschiedlich stark gestörter Wälder auf. Allerdings nahm der Artenreichtum bereits an Standorten, die nur einen Kilometer vom geschlossenen Wald entfernt waren, deutlich ab. Waldnahe, kleinräumig bewirtschaftete Flächen profitieren folglich stark von ständig zuwandernden „Waldarten“. Welche Arten auf den gestörten Flächen tatsächlich Bedingungen für einen adäquaten Lebensraum vorfinden, um dort dauerhaft Populationen aufzubauen, ist schwer abzuschätzen. Die hohe Übereinstimmung im Auftreten der häufigen Nachtfalterarten zwischen den verschiedenen Waldtypen und stark gestörtem, waldnahem Freiland lieferte jedoch einen ersten Hinweis. Diese

Rechts: Alte Waldbestände bieten den idealen Lebensraum für Nachtfalter der Gattung *Cydalima*. Auch dort, wo der Mensch bereits in die Natur eingegriffen hat, trifft man die Motte mit den unverkennbar weißen Flügeln an. Völlige Abholzung dagegen bedeutet ihr Aus. In unbewaldeten Regionen hat sie keine Überlebenschance.

Arten müssen auch in den stärker gestörten Lebensräumen geeignete Bedingungen für eine dauerhafte Besiedlung vorfinden – nicht zuletzt, weil die Zünslerpopulationen der vom Menschen gestörten Lebensräume keine größeren Häufigkeitsschwankungen zeigten als im Wald.

Die Vielfalt von Nachtfaltern ist in sekundären Tropenwäldern kaum geringer als in Primärwäldern, obgleich sich die Zusammensetzung der Artengemeinschaften durchaus verschiebt. Daraus folgt, dass viele Nachtfalterarten nicht unmittelbar auf eine geschlossene Baumkronenschicht oder das Verbleiben alter Baumriesen angewiesen sind. Für viele tropische Nachtfalter scheint vielmehr einem möglichst reichhaltigen Bewuchs des Waldbodens eine entscheidende Bedeutung zuzukommen. Demnach könnte für Nachtfalter in Borneo Ähnliches gelten wie in Mitteleuropa. Auch hier ging die Umwandlung primärer Wälder in naturnahe Sekundärwälder nur mit



einem mäßigen Verlust an Artenvielfalt einher. Beispielsweise sind in Deutschland von den Schmetterlingsarten der Laubwälder weit weniger auf „Roten Listen“ zu finden als von Arten offener Standorte, obwohl Laubwälder heute in Mitteleuropa nahezu ausschließlich in Form

wieder aufgeforsteter Wälder existieren.

Vom Menschen geschaffene Lebensräume spielen eine wichtige Rolle beim Erhalt der Vielfalt tropischer Insekten. Prioritäres Anliegen ist es dennoch, möglichst große Anteile der verbliebenen

sind vonnöten. Denn einerseits sind solche Schutzgebiete unverzichtbare Quellen für die Besiedlung neu entstandener von Menschen geschaffener Lebensräume. Andererseits reagieren viele Organismen auf Veränderungen der Waldstruktur sehr empfindlich. Besondere Beachtung muss dabei den verbliebenen Tieflandwäldern geschenkt werden, die in den letzten Jahrzehnten in Borneo außerhalb von Reservaten nahezu völlig vernichtet wurden. Wenn auch bei Nachtfaltern der höchste Artenreichtum meist nicht in den Tieflandbereichen erreicht wird, so be-



Welkem Laub zum Verwechseln ähnlich: Der Schwärmer *Daphnusa ocellaris*, der in der Nähe des Waldbodens lebt. Da er keinen Saugrüssel besitzt, benötigt er – im Unterschied zu den meisten Schwärmern – auch keine Blüten als Nektarquellen. Sein Zuhause sind die Regenwälder Südostasiens, zu denen auch die Bergwälder des Mount Kinabalu (unten) auf Borneo gehören.



Reste naturnaher Urwälder oder Agrargegenden als Schutzgebiete einzurichten. Auch verstärkte Anstrengungen zum Erhalt und Management bereits existierender Reserverate

herbergen diese doch einen einzigartigen Teil des regionalen Artenbestandes, der in den unzugänglicheren kühleren Bergwäldern keinen Lebensraum mehr findet.

*Dr. Christian H. Schulze
Prof. Dr. Konrad Fiedler
Universität Bayreuth*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Mandevilles Reise in die weite Welt

Einstmals war er so bekannt wie Marco Polo: Jean de Mandeville und sein Bericht über eine spektakuläre Weltreise. Die Verbreitung der französischen Handschriften dieses „Bestsellers“ konnte jetzt rekonstruiert werden

Wer kennt ihn nicht, den venezianischen Händler, Gesandten und Erzähler Marco Polo? 1271 brach der junge Kaufmann mit seinem Vater und einem Onkel zu einer Handelsfahrt nach China auf, trat dort in die Dienste des mongolischen Herrschers Kublai-Khan und kehrte erst 24 Jahre später in seine Heimatstadt zurück.

So lehren es bereits die Schulbücher; auch wenn es Stimmen gibt, die bezweifeln, dass Marco Polo jemals chinesischen Boden betreten habe, hat dies seiner Popularität bis heute nicht geschadet. Wie anders ist da das Schicksal eines weiteren Welt-Reisenden des 14. Jahrhunderts, der heute der breiten Öffentlichkeit gänzlich unbekannt ist: Jean de Mandeville. Eigenen Angaben zufolge verließ er 1322 als Ritter seine englische Heimatstadt St. Albans, fuhr über Nordafrika ins Heilige Land, durchquerte den Mittleren Osten bis nach China und gelangte an den Hof des Großen Khan. Nach weiteren Reisestationen kehrte er 1357 aus gesundheitlichen Gründen an einen nicht näher benannten Ort zurück, um seine Erinnerungen in französischer Sprache niederzuschreiben. Im späten Mittelalter erfreute sich sein Reisebuch, gemeinhin die *Voyages* (Reisen) oder auch der *livre de Mandeville* genannt, größter Beliebtheit: Mehr als 300 erhaltene Handschriften in zehn europäischen Sprachen (von Marco Polo sind etwa 130 Kopien in sieben Sprachen überliefert) zeugen von dieser Popularität.

Dass dieser Ruhm heute verblasst ist, mag damit zusammenhängen, dass es mittlerweile als gesichert gilt, dass Jean de Mandeville nicht selbst gereist ist. Bislang ist es nicht einmal gelungen, ihn mit einer historischen Figur zu identifizieren. Vielmehr ist er das – wahrscheinlich erfundene – Erzähler-Ich eines belebten Autors, der seine Kenntnisse aus einer Vielzahl antiker und mittelalterlicher Texte schöpfte, darunter Reise- und Pilgerberichte sowie andere literarische, historische und religiöse Texte und auch wissenschaftliche Enzyklopädien. So schuf er einen auf vermeintlich eigenem Erleben basierenden Bericht, in dem er über die damals bekannten Länder der Welt, deren Einwohner, Sitten und Gebräuche, Sprachen und Religionen berichtete. Wissensvermittelnde Literatur dieser Art stieß bei spätmittelalterlichen Lesern offenbar auf großes Interesse, wie Studien zur Überlieferungsgeschichte im deutschen Sprachraum gezeigt haben. Wie aber sah es mit der Resonanz beim südeuropäischen Publikum aus? Diese Überlieferungs- und Rezeptionsgeschichte konnte exemplarisch an 28 französischen Handschriften rekonstruiert werden. Alle untersuchten Handschriften gehören zur so genannten kontinentalfranzösischen Version des Mandeville-Textes, stammen fast ausschließlich aus dem späten 14. und 15. Jahrhundert und sind überwiegend in Paris und im Osten Frankreichs, im ehemals burgundischen Einflussbereich, angefertigt worden. Zu dieser Handschriftengrup-

pe gehört auch die älteste datierte Kopie aus Paris: 1371 gab Gervaise Chrétien, erster Hofarzt des französischen Königs Karl V., die Abschrift bei einem bekannten Pariser Schreiber in Auftrag, um den *livre de Mandeville* vielleicht zum Neujahrsfest seinem König als Geschenk zu überreichen.

Der Überlieferungslage zufolge war der *livre* zu dieser Zeit bereits im nordfranzösischen und flämischen Raum bekannt, worauf sich unter anderem die Vermutung stützt, dass der Text in eben dieser Region entstanden ist. Denn neben dem Fehlen eines überzeugenden Beweises für die Existenz eines Jean de Mandeville ist auch der Verlust des Autortextes zu beklagen.

Sieben weitere überlieferte Abschriften sind im näheren Umfeld von Karl V. entstanden. Dies belegen auffällige textliche Übereinstimmungen, die durch minutiöse Vergleiche der einzelnen Handschriften, durch so genannte Kollationen, ermittelt werden können. Zudem sind Ähnlichkeiten in der Ausstattung der Kopien auffällig. Anders als bei dem Exemplar des französischen Königs sind die

Schön und kunstvoll gestaltet ist diese Handschrift des *livre de Mandeville*, die 1371 für den französischen König Karl V. angefertigt wurde. Die vier Szenen in Kleeblattform zeigen oben links den Ritter Mandeville bei der Niederschrift seines Werkes, rechts daneben wird dem König die Abschrift überreicht und darunter zwei Darstellungen aus der so genannten Drachenlegende.

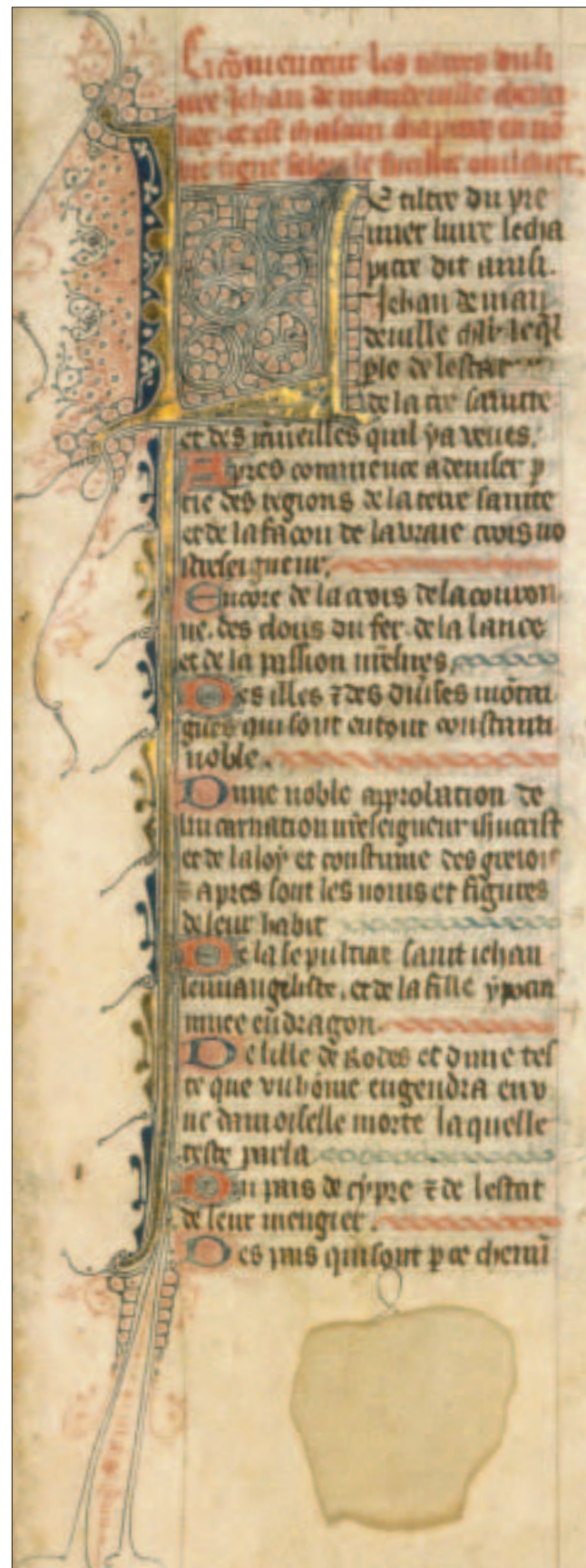


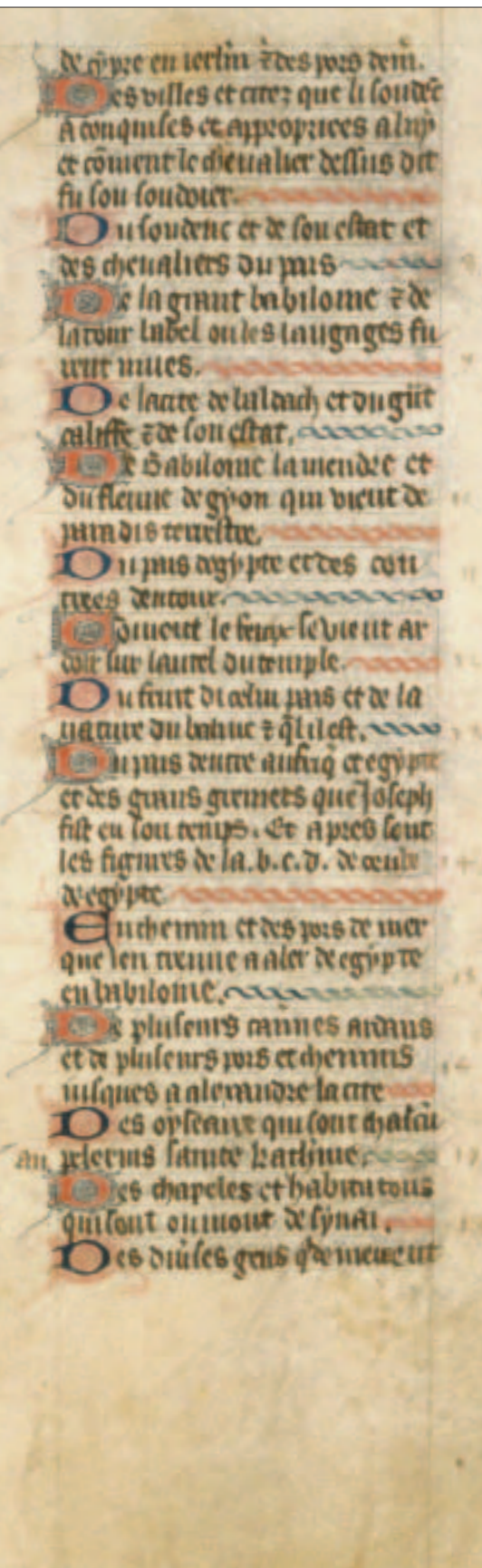
Somme il soit auant. *Et comence le liure Jehan de*
que la terre doulce mer. Mandeville chevalier
est assaouir la terre sainte. le quel parle de l'estat
la terre de promission. entre de la terre sainte a des
toutes autres soit la plus excellent merueilles
et la plus digne et digne a souverain de toutes que il y a
autres terres. Et soit tenoute saintefice et consacree tres-
du piecieux corps et du piecieux sanc nuel ihu crist ou il li
plaisoit soy en ymbier en la vierge mane et chue humaine
pendie et nourriou. Et la dite tenouance par et enuironer
de ses tenoues roies. Et la route il menur nuade faire et par

Schreiber, Auftraggeber oder Besitzer dieser kostbaren Bücher namentlich allerdings nicht bekannt. Die dekorativen Elemente wie Miniaturen, Schmuckrahmen, Text- und Kapitelinitialen, farblich aufwändig gestaltet und mit viel Gold belegt, zeigen jedoch, ebenso wie die Einträge in Inventarlisten spätmittelalterlicher Büchersammlungen sowie die Besitznachweise in weiteren kontinentalfranzösischen Handschriften, dass der *livre de Mandeville* im französischen Sprachraum in hocharistokratischen Kreisen kursierte: Allein in der Bibliothek des französischen Königs, die auf mehreren Etagen in einem Turm des Louvre untergebracht war, standen bis 1424 drei Ausgaben des *livre de Mandeville*. Auch die Brüder von Karl V. besa-

Ben Mandeville-Exemplare; für Valentina Visconti, Karls V. Schwiegertochter, wurde 1388 eine Abschrift angefertigt, die heute in der Biblioteca Estense in Modena verwahrt wird. Valentinas Sohn, der Dichterherzog Karl von Orléans, hatte ebenfalls einen Mandeville in seinem Besitz. Auch im politischen

Unten: In der Widmungsszene einer um 1460 entstandenen Handschrift wird der *livre de Mandeville* von einer knienden Person überreicht. Dekorative Elemente wie Miniaturen, Schmuckrahmen oder Initialien geben jeder Handschrift ein unverwechselbares Gesicht.





Links: Aufwändig verzierte Abschrift des *livre de Mandeville*. Sie wird auf die zweite Hälfte des 14. Jahrhunderts datiert und ist in Paris entstanden. Oben: Farbige Miniatur aus einer besonders hochwertig gestalteten Handschrift des 14. Jahrhunderts.

Einflussbereich der burgundischen Herzöge findet sich der *livre* in Büchersammlungen von Adligen.

Die Lektüregewohnheiten des französischen und burgundischen Adels wirkten weit über die Grenzen der jeweiligen Herrschaftsreiche hinaus: 1380 bat etwa der spätere König von Aragón, Johann I. (König ab 1387), das französische Königshaus um die Zusendung eines *livre de Mandeville*. Kurz darauf entstanden Übersetzungen des Textes ins Aragonesische, Katalanische und Kastilische. In Italien sorgten die Herzöge von Mailand für eine Verbreitung des Bestsellers. Eine italienische Übersetzung des Textes kursierte hier spätestens seit 1400. Von Südtirol aus erfuhr der *livre de Mandeville* seine Ausdehnung in den süddeutschen Sprachraum. Seit Ende des 14. Jahrhunderts war der Text auch in niederländischer Sprache bekannt.

Die Verbreitung des Mandeville-Textes vollzog sich rasant. Neben den genannten Übertragungen, die allesamt auf die kontinentalfranzösische Version zurückgehen, lag der Text im 15. Jahrhundert in einer zweiten deutschen Übersetzung, außerdem in Englisch, Irisch, Latei-

nisch, Tschechisch und Dänisch vor. Die Übersetzungen und die zahlreichen Mandeville-Handschriften in alten Büchersammlungen und Bibliotheken sagen viel über den Bekanntheitsgrad und Beliebtheitswert des *livre de Mandeville* im 14. und 15. Jahrhundert aus. An Erklärungen für das „Mandeville-Phänomen“ mangelt es nicht: Die Verschmelzung von klassischer Heiligland-Fahrt und Orientreise ebenso wie die Kombination fiktiver und realer Erzählstoffe befriedigte die Lektüererwartungen eines breiten Publikums. Der Autor des *livre* hatte es außerdem verstanden, sein umfangreiches Material ansprechend in Form eines Reiseverlaufs zu kleiden. So konnte er seine Schilderungen auch einem nicht gelehrten Publikum nahe bringen. Liebhaber fabelhafter Geschichten, kamen hier ebenso auf ihre Kosten wie solche Leser, die sich für die Genealogie der ägyptischen Sultane, die heiligen Stätten in Jerusalem, die Kugelgestalt der Erde oder für das Leben am Hofe des Mongolenherrschers interessierten. Kein Zweifel: Der *livre de Mandeville* bediente viele Interessen und avancierte damit zu einem Bestseller.

Dr. Susanne Röhl
Universität Paderborn

Das Dissertationsprojekt wurde im Rahmen des Graduiertenkollegs „Reiseliteratur und Kulturanthropologie“ von der DFG gefördert. ► www-fakkw.upb.de/graduierenkolleg ► www.ieman.de/mandeville



Himmliches Getümmel: Im Sternbild Orion bilden rund 2000 junge Sterne einen „Trapezhaufen“. Tief in Gas und Staub eingebettet, ist er nur im Infrarotbereich beobachtbar.

Die turbulente Geburt der Sterne

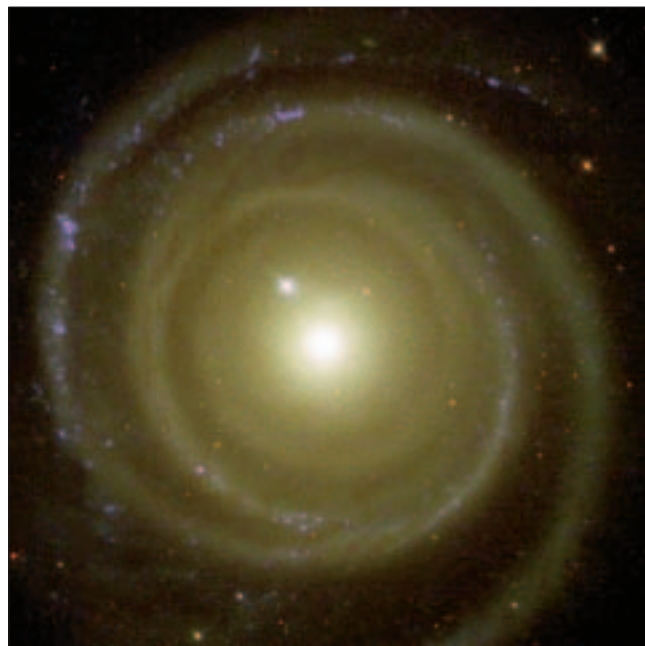
Das Entstehen von Sternen ist ein dramatischer Vorgang, der Physiker vor viele ungelöste Fragen stellt. Mit Computersimulationen sind Forscher den Mechanismen auf der Spur, die aus dem Gas der Milchstraße einen Stern wie unsere Sonne entstehen lassen

Sterne sind die Himmelskörper, die wir am besten beobachten können, da sie selbst leuchten. Daher sind sie die wichtigsten Quellen unseres astronomischen Wissens. Die physikalischen Prozesse, die in den Sternen und während ihrer Entstehung vor sich gehen, bestimmen – im Fall der Sonne – nicht nur das Geschick unserer Erde. Sie geben auch Aufschluss über die physikalischen Prozesse, die Entstehung und Entwicklung des Universums regulieren. Dabei ist besonders die „Geburt“ der Sterne von Interesse. Da der Prozess der Sternentstehung nicht direkt beobachtet werden kann, einerseits auf Grund der Dauer von einigen Millionen Jahren, andererseits der Tatsache wegen, dass sich Sterne in nahezu undurchdringlichen Gas- und Staubwolken bilden, versuchen Wissenschaftler heute, den Vorgang mithilfe von Computersimulationen nachzuvollziehen.

Wenn wir in einer klaren Nacht in den Himmel blicken, sehen wir entlang des Bandes der Milchstraße dunkle, abgeschattete Gebiete. Das sind Wolken aus interstellarem Gas und Staub, die das Licht weiter entfernt liegender Sterne verschlucken. Seit etwa einem halben Jahrhundert ist bekannt, dass diese „Dunkelwolken“ die Geburtsstätten junger Sterne sind. Die Wolken bestehen aus molekularem Wasserstoffgas und Staub. Deshalb werden sie auch Molekülwolken genannt. Sie bilden sich bevorzugt in den Spiralarmen unserer Galaxie. Dort sammelt sich in „Staubstellen“ der Milchstraße die Materie an. Die Gaswolken können einen Durchmesser von bis zu 100 Lichtjahren erreichen und ihre Masse kann bis zu mehreren Millionen der Sonnenmasse betragen. Die Temperatur innerhalb der Wolken beträgt dabei nur etwa zehn Grad über dem absoluten Nullpunkt. Innerhalb der Wolken ist das molekulare Gas sehr un-

hochgradig turbulent und bewegt sich zum Teil mit Überschallgeschwindigkeit. Die typische Lebensdauer einer Molekülwolke beträgt nur etwa zehn Millionen Jahre. In kosmischen Maßstäben betrachtet, ist dies sehr wenig. Der Prozess der Sternbildung in diesen Wolken muss also „schnell“ ablaufen.

Diese Randbedingungen sind eine der Schwierigkeiten, die Forscher in einem Computermodell meistern müssen. Angesichts der Turbulenzen und Inhomogenitäten



Eine Spiralgalaxie im Sternbild Centaurus. Staub und Gas liefern die notwendigen Zutaten, damit sich in ihren Armen neue Sterne bilden können. Rechts: Aufnahme vom Zentrum der Galaxie. Dichte Ansammlungen von Materie verdunkeln hier das Sternenlicht. Der rote Fleck markiert den Mittelpunkt unserer Milchstraße.

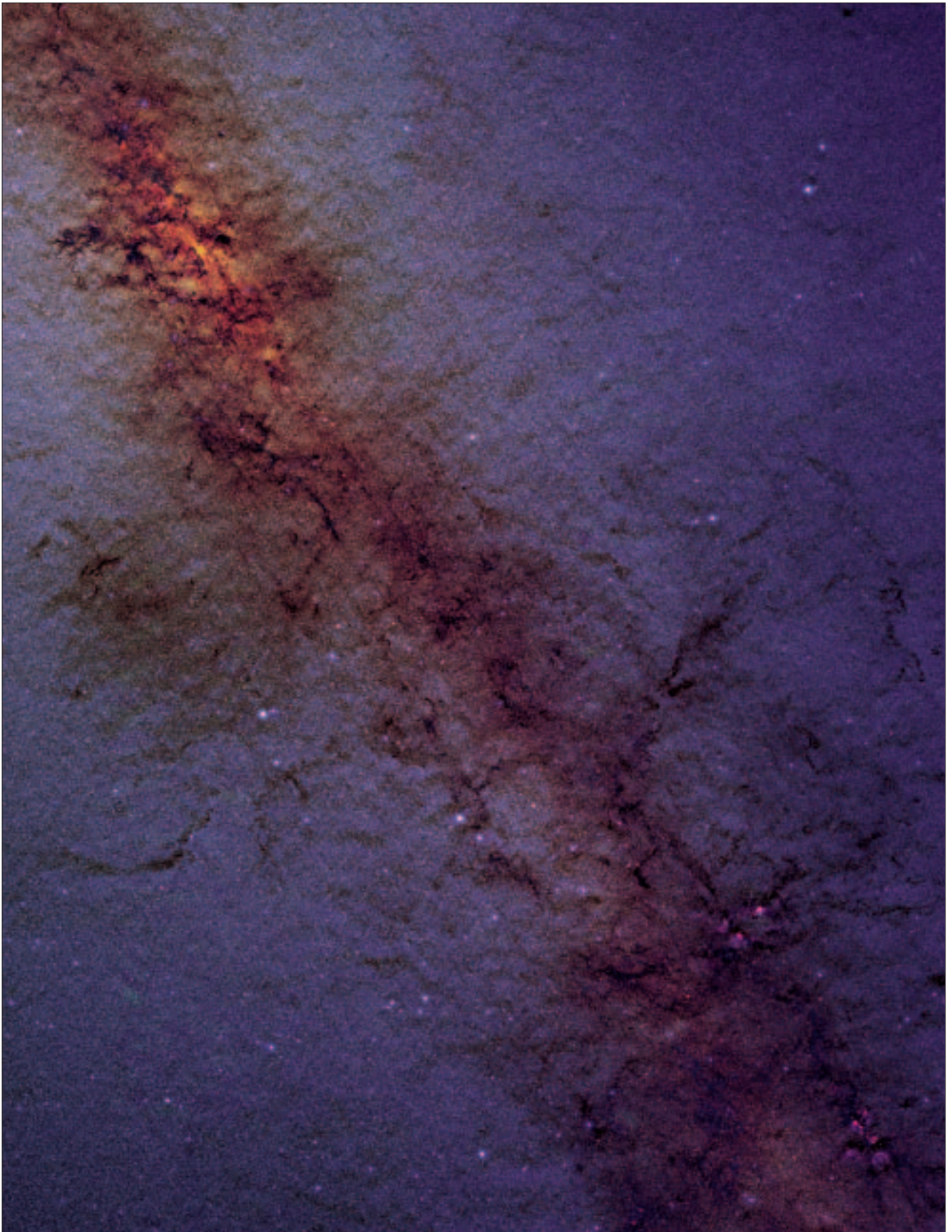
müssen die Wissenschaftler für das Modell Annahmen treffen, die vereinfachen und doch richtige Ergebnisse erlauben. Sterne entstehen in Gebieten hoher Dichte im Inneren einer Molekülwolke, wenn die zum Zentrum der Wolke gerichtete Schwerkraft über die nach außen gerichteten Kräfte dominiert. Dies ist der Fall, wenn die Masse des Gases einen kritischen Wert über-

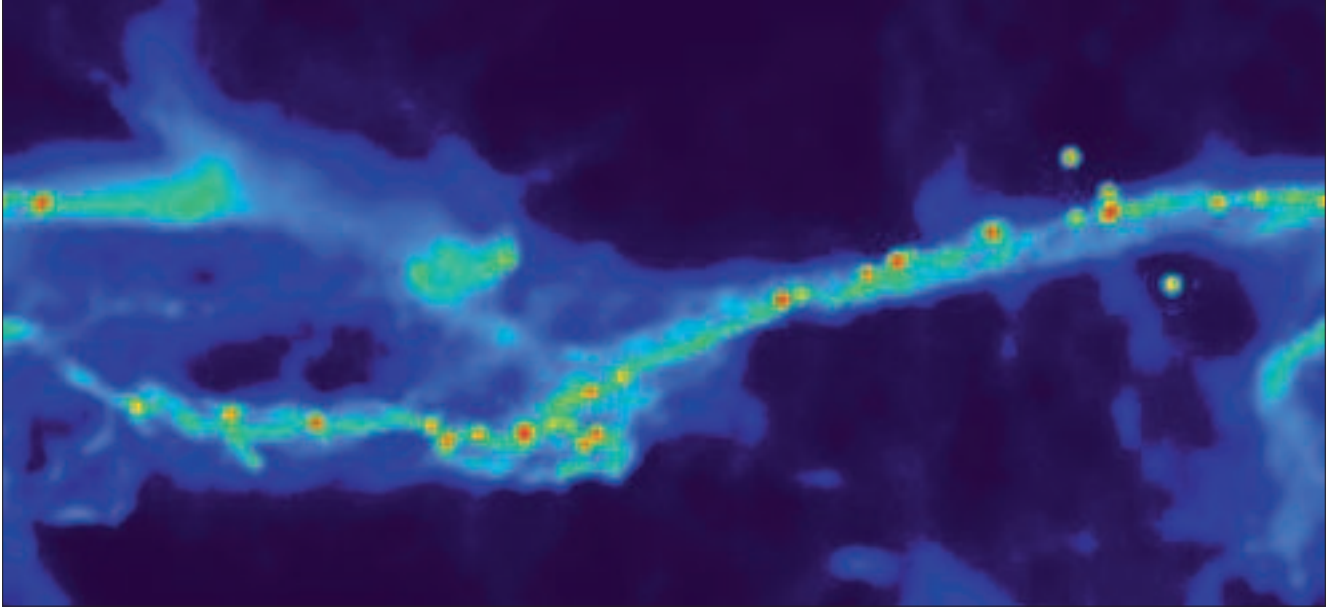
schreitet, der nach dem englischen Naturwissenschaftler Sir James Jeans (1877 bis 1946) Jeans-Masse genannt wird. Das System kollabiert dann unter seinem eigenen Gewicht. Gasdichte und Temperatur wachsen stetig an, ein neuer Stern entsteht.

Über Jahrzehnte hinweg war die Theorie der Sternentstehung von der Vorstellung geprägt, dass der Prozess der Sternbildung vor allem das Resultat des Wechselspiels von Gravitation und kosmischen Magnetfeldern ist. In diesem Bild stabilisiert ein starkes Magnetfeld die Molekülwolke, und erst wenn ausreichend Material zwischen den Magnetfeldlinien hindurchdriften konnte, beginnt die Zusammenziehung, auch „Kontraktion“ genannt. Neuere Beobachtungen haben jedoch ergeben, dass die gemessenen Feldstärken nicht ausreichen, die Molekülwolke als Ganzes zu stabilisieren. Die moderne Theorie der Sternentstehung betrachtet daher die in allen Wolken beobachtete Überschallturbulenz als wichtigsten physikalischen Prozess, der die Sternbildung kontrolliert. Die in der Turbulenz des Wolkengases enthaltene

Bewegungsenergie entspricht in etwa der Gravitationsenergie und übertrifft den Anteil der magnetischen Energie. Das bedeutet, dass die Überschallturbulenz die Wolke auf der einen Seite gegen die Kontraktion durch Schwerkraft stabilisieren kann. Auf der anderen Seite jedoch wird durch turbulente Verdichtung Sternbildung ausgelöst. Die Turbulenz spielt somit in doppelter Weise eine Rolle.

Durch zusammenfließende Strömungen in einer turbulenten Wolke bilden sich lokale Dichtemaxima, deren Masse größer werden kann, als für den gravitativen Kollaps erforderlich ist. Durch die Kontraktion verändert sich die Molekülwolke. Die Dichteverteilung in der Wolke ist während dieses Vorganges durch lang gestreckte Strukturen

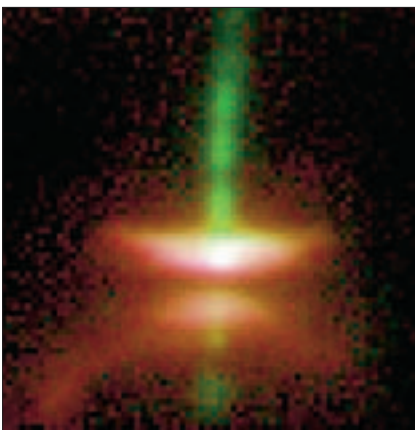




geprägt. In diesen beobachtet man so genannte protostellare Kerne. Das sind die unmittelbaren Vorläufer einzelner Sterne. Auch das Computermodell simuliert die Bildung solcher Protosterne.

Diese Objekte fallen aufgrund ihres Eigengewichtes in sich zusammen, in ihrem Zentrum bildet sich ein junger Stern, der durch die Gravitation Gas anzieht und rasch an Masse gewinnt. Da das Gas rotiert, bildet sich zunächst eine scheibenartige Struktur aus. Das Material in dieser Scheibe wird langsam nach innen transportiert und fällt schließlich auf den eigentlichen Stern. Aus dieser Scheibe kann möglicherweise ein Planetensystem entstehen.

Ein Stern entsteht. Durch die Schwerkraft sammelt sich Materie entlang einer Scheibe. Diese hat einen Durchmesser von ungefähr 60 Milliarden Kilometer. In ihrem Zentrum wächst ein Stern heran, der nur anhand seines Streulichts auszumachen ist.



Ist das vorhandene Gasreservoir aufgebraucht, ist die dynamische Phase der Sternentstehung beendet. Diese „Geburt“ des Sterns dauert insgesamt mehrere Millionen Jahre. Nun folgt die wesentlich langsamere quasi-statische Kontraktion des Protosterns. Dabei nehmen Temperatur und Druck im Inneren des Protosterns weiter kontinuierlich zu, bis bei rund zehn Millionen Grad im Zentrum die Fusion von Wasserstoff zu Helium einsetzen kann. Diese Energiequelle ermöglicht es dem System, ein neues Gleichgewicht zu finden. Der Stern ist sozusagen „erwachsen“ geworden, seine Hauptlebensphase beginnt. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die richtige Modellierung der Sternentstehung ist, dass ein Stern nicht allein entsteht. Aus einer Molekülwolke bildet sich in der Regel ein Haufen von mehreren hundert bis einigen tausend Sternen, die miteinander in Wechselwirkung treten und um den selben Gasvorrat konkurrieren. Dadurch ergibt sich ein hochgradig dynamisches und zugleich chaotisches Bild der Sternentstehung. Eine vollständige theoretische Beschreibung des Prozesses ist daher nur im statistischen Sinne möglich. Insgesamt jedoch weisen alle jungen Sternhaufen sehr ähnliche Eigenschaften auf. So ist die Verteilung der Sternmassen in allen Haufen in etwa dieselbe, und man findet fast immer die massereichsten Sterne im Zentrum des Haufens vor. Ein neuer Ansatz ist daher auch in der Simulation, nicht mehr nur einen einzelnen, isolierten Stern zu betrachten, sondern

Im Modell kann die Entwicklung galaktischer Molekülwolken nachvollzogen werden. In dichten Gasgemengen bilden sich dort die Vorläufer von Sternen. Die so genannten protostellaren Kerne sind hier mit Rot kenntlich gemacht.

ganze Sternhaufen, die sich aus einer kollabierenden Gaswolke bilden. Dies kommt der Realität wesentlich näher.

Am Computer lassen sich verschiedene Eigenschaften wie Masse, Drehimpuls oder Bewegung sowohl einzelner Protosterne als auch des gesamten Haufens zu jedem beliebigen Zeitpunkt studieren und mit Beobachtungsdaten vergleichen. Es zeigt sich, dass trotz der zwangsläufigen Vereinfachung oder Vernachlässigung mancher physikalischer Prozesse die Computermodelle ein realistisches Szenario nachzeichnen. Viele Charakteristika, wie das Bilden von Protosterne, die Zeitskalen oder die Massenverteilung der jungen Sterne, stimmen in modernen Berechnungen gut mit den Beobachtungen überein. Die Simulationsrechnungen bestätigen so die moderne Theorie der Sternentstehung, die auf dem Wechselspiel von Überschallturbulenz und Schwerkraft basiert.

*Anne-Katharina Jappsen
Stefan Schmeja
PD Dr. Ralf Stephan Klessen
Astrophysikalisches Institut
Potsdam*

Die Studien wurden im Rahmen des Emmy Noether-Programms der DFG gefördert.
► www.aip.de/~ralf

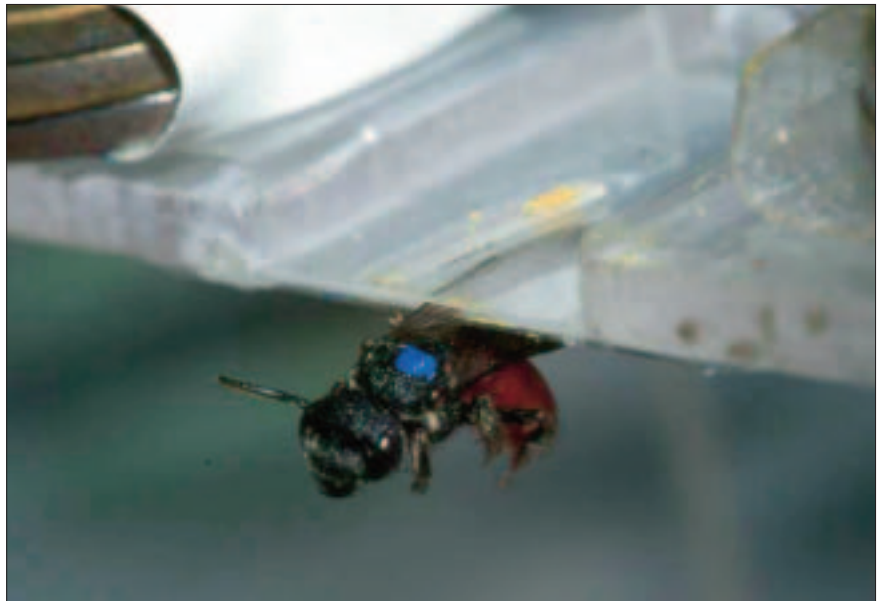
Vom „Fingerabdruck“ der Wildbiene

Mithilfe des Systems ABIS können Wildbienen schnell und sicher erkannt werden. Das Verfahren setzt auf die automatisierte Bildanalyse von Bienenflügeln, die neue Wege für die computergestützte Artenbestimmung ermöglicht

Seit dem Umweltgipfel von Rio 1992 hat die biologische Systematik an internationaler Bedeutung gewonnen. Unter Systematik versteht die Biologie die Beschreibung der einzelnen Tier- und Pflanzenarten sowie deren Eingruppierung in ein Abstammungsschema, das ihre Entwicklung im Laufe der Erdgeschichte beschreibt. Ein spezielles Fachgebiet im Rahmen der Systematik ist die Biodiversitätsforschung, die die Vielfalt aller Arten in einem Gebiet untersucht. Im Wettlauf mit der Zeit soll der schwindende Artenreichtum der Erde erkundet und damit die Voraussetzung für Naturschutz und die wirtschaftliche Nutzung von Tier- und Pflanzenarten in Landwirtschaft, Chemie und Pharmazie geschaffen werden. Die Erfassung, Bearbeitung und Archivierung von Artenbeständen ist aufgrund der Dringlichkeit dieser Aufgaben ohne Computerunterstützung nicht mehr durchführbar und hat zu dem neuen Forschungsfeld der Biodiversitätsinformatik geführt.

Eine Schlüsselrolle für die Erhaltung von Naturräumen sowie für die Ertragssicherung von Nutzpflanzenkulturen kommt der Artenbestimmung von Tieren zu, die diese Pflanzen bestäuben. Wildbienen zählen aufgrund ihrer hohen Artenanzahl und der sehr engen Nahrungsspezialisierung zu den wichtigsten Bestäubern unserer Wild- und Nutzpflanzen.

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts zwischen Zoologen und Informatikern wurde das System ABIS, das „Automated



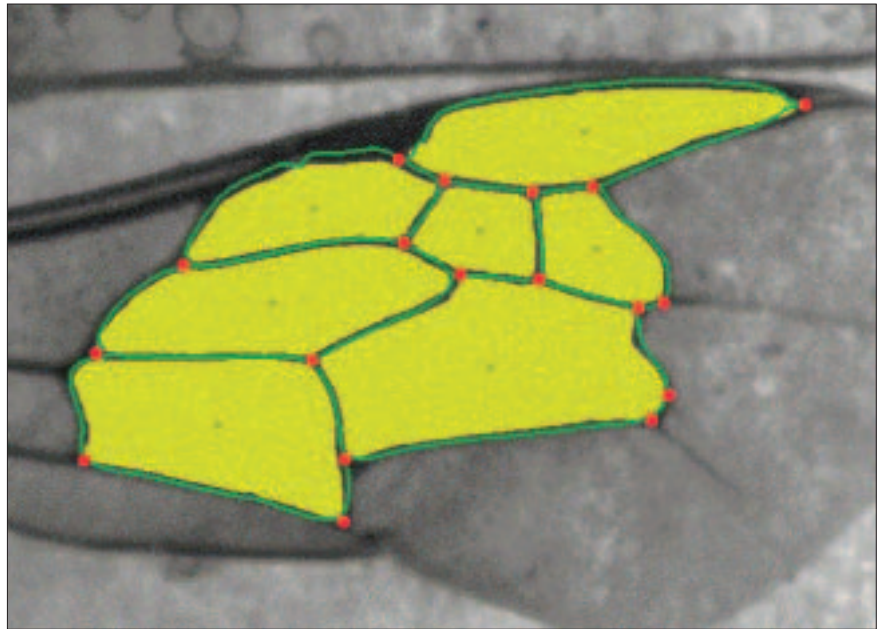
Eingeklemmter Flügel: Die durch Kälteeinwirkung kurzfristig erstarrte Biene wird in einen Halterungsklipp gespannt. Nun kann das Flügelbild für die Artenbestimmung aufgenommen werden. Dies geschieht durch das System ABIS, das „Automated Bee Identification System“, das eine zuverlässige Artenbestimmung bei Wildbienen erlaubt.

Bee Identification System“, entwickelt, das eine schnelle und sichere Artenbestimmung von Wildbienen erlaubt. ABIS ist zudem zur Bewertung von Naturräumen einsetzbar, da Wildbienen aufgrund ihrer Spezialisierung Rückschlüsse auf Charakteristika ihres Lebensraumes wie Pflanzenvorkommen und Bodenarten zulassen. Die Möglichkeit der Lebendbestimmung durch ABIS

eröffnet ferner neue Wege für so genannte Monitoringuntersuchungen, mit deren Hilfe die Anzahl der lebenden Tiere in einem bestimmten Gebiet und über einen bestimmten Zeitraum ermittelt und verfolgt wird. Gegenüber Verfahren der Biochemie und der Molekulargenetik zeichnet sich ABIS durch vergleichsweise geringen apparativen Aufwand, die Möglichkeit des mobilen Freilandensatzes sowie die Lebendbestimmung von Bienen aus.

Wie aber kann die Artenbestimmung von Wildbienen effizient auf automatische Weise erfolgen? Die Systematiker führen die Artenbestimmung auf die sichtbare Unterscheidung vielfältiger Körpermerkmale, beispielsweise die Formen und Farben von Torso, Kopf, Fühlern, Beinen und Flügeln zurück. 21

Nach Aufnahme und Analyse des Flügelbildes mithilfe des ABIS-Systems sind charakteristische Flügelmerkmale zu erkennen: Die grünen Linien sind die Adern, die roten Punkte stellen die Aderknoten dar, und die flächenhaften Hautzellen sind gelb markiert. Daneben: Als Grundlage der Artenanalyse dient ein gattungsspezifischer Musterflügel.



Dieses langwierige Vorgehen ist für eine automatisierte Artenbestimmung nicht praktikabel. Stattdessen sollten wenige und einfach wahrnehmbare Körpermerkmale die Grundlage der computergestützten automatisierten Artenbestimmung sein.

Die Wahl fiel auf die Flügel der Bienen. Die Familie der Wildbienen zählt zur Ordnung der Hautflügler innerhalb der Klasse der Insekten. Denn Bienen haben nahezu transparente Hautflügel, in denen sich bei genauer Betrachtung ein ausgeprägtes Netz von Adern erkennen lässt. Kann dieses Adernetz als „Fingerabdruck“ für die genaue Bestimmung der Art verwendet werden? Die mit dem System ABIS im In- und Ausland erzielten Ergebnisse, die sich durch Erkennungsraten von bis zu 97 Prozent auszeichnen, bestätigen diese Wahl eindrucksvoll.

Wie arbeitet das System ABIS? Ausgangspunkt sind mit einer

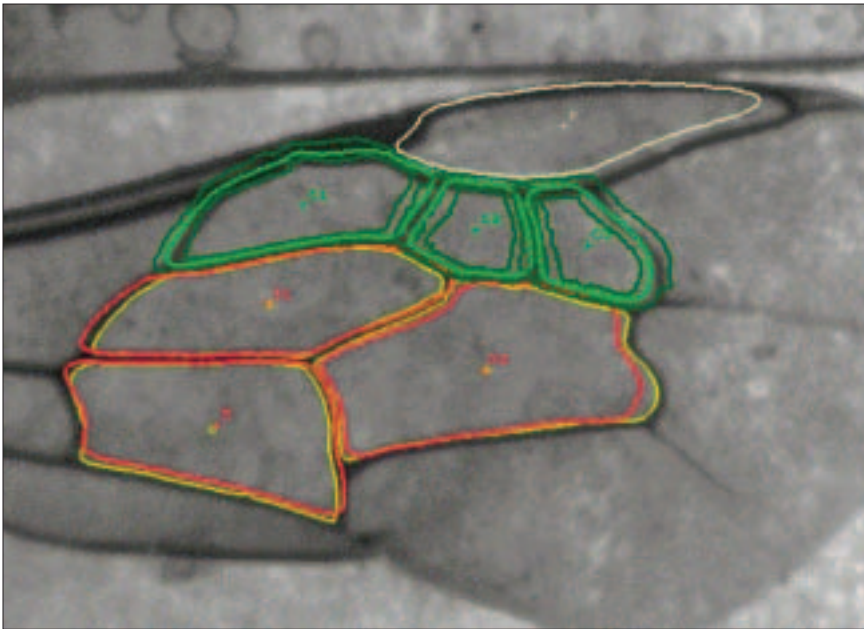
handelsüblichen Digitalkamera aufgenommene Bilder der Bienenflügel. Dazu wird die Kamera auf ein Mikroskop aufgesetzt. Ein solches Mikroskop wird ohnehin von Systematikern für ihre Bestimmungsarbeit benutzt. Der Flügel der Biene wird in einen transparenten Klipp, bestehend aus einem Glasprisma und einem Objektträgergläschen, eingespannt und durch weiße Leuchtdioden im Durchlicht ausgeleuchtet. Der Flügel der Bienen wird dabei nicht verletzt oder beschädigt. Somit ist ABIS

sowohl für die Arbeit in wertvollen wissenschaftlichen Sammlungen als auch für die Artenbestimmung an lebenden Bienen verwendbar. Für die Lebendbestimmung werden die Bienen durch Kälte, beispielsweise mit Hilfe einer handelsüblichen Kühlbox, oder durch Kohlendioxid betäubt. Der Prozess des Einspannens und der Bildaufnahme benötigt dann weniger als eine Minute.

Unter Licht zeigt der Flügel eine wohldefinierte Struktur: die nicht-durchsichtigen Adern bilden ein dunkles Netz von Linien und umschließen helle Abschnitte, welche die transparenten Hautzellen des Flügels abbilden. Insgesamt werden drei Kategorien von Flügelmerkmalen betrachtet: die linienförmigen Adern, die punktförmigen Verbindungen von Adern, genannt Aderknoten, sowie die flächenförmigen durchsichtigen Hautzellen. Aus diesen punkt-, linien- und flächenförmigen Merkmalen werden dann die so genannten morphometrischen Merkmale abgeleitet. Diese beschreiben die Gestalt anhand von Zahlenwerten. Beispiele



ABIS ist mobil und somit auch im Feld jederzeit einsetzbar. Rechts: Das freigelassene Fotomodell macht sich nach Aufnahme seines Flügelbildes wieder bereit zum Abflug.



dafür sind die Abstände zwischen Aderknoten, die Flächenverhältnisse von Hautzellen oder die Längenverhältnisse von Adern.

Diese morphometrischen Merkmale aller Adern, Aderknoten und Hautzellen eines Flügels bilden so eine umfangreiche Reihe von Zahlen, den Merkmalsvektor. Die Artenbestimmung selbst basiert auf einem Prinzip, das „überwachte Klassifikation“ genannt wird. Dieses Prinzip erfordert, dass ein erfahrener Systematiker ABIS zunächst trainieren muss. Für jede zu bestimm-



mende Art wird ABIS eine Menge bereits bestimmter Exemplare von Flügelbildern als Trainingsmenge vorgegeben. ABIS „lernt“ nun eine Abbildung, mit deren Hilfe Merkmalsvektoren einer der trainierten Arten zugeordnet werden können.

Tatsächlich sind die Aufgaben der Erkennung der Adern, Aderknoten und Hautzellen im Flügelbild sowie der Zuordnung der Merkmalsvektoren zu einer Bienenart so anspruchsvoll, dass die An-

wendung von Standardmethoden der Bildverarbeitung und Klassifikation nicht ausreicht. Schwache Kontraste bei der Bildaufnahme, Verschmutzungen und Pollenbelag auf den Flügeln und andere Störungen erfordern ein zweistufiges Vorgehen der Bildverarbeitung. Die Erfahrung zeigt, dass bestimmte Hautzellen und Zellen begrenzende Adern robust erkannt werden können. Somit werden die Bildverarbeitung und die Klassifikation zunächst nur für diese Flügelmerkmale durchgeführt. Dies reicht für die Bestimmung der Gattung aus. Vor diesem Hintergrund lädt ABIS aus seiner Wissensbasis einen gattungstypischen „Musterflügel“,

der aus der Trainingsmenge gelernt wurde. Dieser Musterflügel gibt für die weitere Bildverarbeitung quasi den ungefähren Weg zur Erkennung der restlichen Elemente vor. Das heißt: das System „weiß“, wie viele Adern, Zellen und Knoten es noch in welcher „Nachbarschaftskonstellation“ zu suchen hat. Diese Zusammenhänge sind nämlich für alle Arten einer Gattung gleich. Die genaue Ausprägung dieser Vorhersagen ergibt sich jedoch aus dem einzelnen Flügel und liefert somit letztlich den charakteristischen und für die Artenbestimmung der Biene notwendigen Merkmalsvektor.

Auch für die Bestimmung der Art auf der Grundlage der für jedes Flügelbild erzeugten Merkmalsvektoren sind keine einfachen, so genannten linearen Klassifikationsverfahren einsetzbar. Stattdessen wurde eine neue nichtlineare Variante der bekannten linearen Diskriminanzanalyse entwickelt, die sowohl sehr schwierige Aufgaben der Klassifikation lösen kann als auch hilfreich für die Visualisierung der Bestimmungsergebnisse

Auf der Basis eines Musterflügels „weiß“ das System ABIS, wie viele Adern, Zellen und Knoten zu suchen sind

ist. ABIS wurde erfolgreich in Deutschland, Brasilien und den USA eingesetzt. Dabei sind Erkennungsraten von nahezu 100 Prozent erreicht worden. Der Er-

folg ist aber – wie auch beim Menschen – vom Lernprozess abhängig: Je umfangreicher und aussagekräftiger die Trainingsmenge ist, desto besser fällt die anschließende Artenbestimmung bei neuen Flügelbildern aus.

*PD Dr. Volker Steinhage
Dr. Stefan Schröder
Dr. Volker Roth
Prof. Dr. Armin B. Cremers
Prof. (em.) Dr. Wilhelm Drescher
Prof. Dr. Dieter Wittmann
Universität Bonn*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren unterstützt.

► www.cs.uni-bonn.de/projects/ABIS/

Wir haben heute ein schönes Quartier gehabt, freundliche Hausleute, gut zu essen, gut, sehr gut zu trinken, Burgunder, Bordeaux, soviel wir wollten. Ein solches Quartier hatten wir noch nicht und werden wohl keines mehr bekommen. Die Leute hatten sehr viel Furcht vor uns, sie meinten, wir würden sie alle umbringen! Sie haben nun gesehen, dass wir keine Barbaren, sondern Menschen sind.“

Was der Regimentsquartiermeister Friedrich Nützel aus Erlangen in seinem Brief vom Frankreichfeldzug am 8. September 1870 seiner Ehefrau schildert, ist nur eine von unzähligen Begegnungen und alltäglichen Wahrnehmungen zwischen Deutschen und Franzosen während des Deutsch-Französischen Krieges 1870/71. Vor dem Aufkommen des Massentourismus wurden die Bewohner beider Länder vorwiegend durch kriegerische Ereignisse miteinander konfrontiert. Kriege stellen somit eine der bedeutendsten Quellen der wechselseitigen Meinungsbildung zwischen Franzosen und Deutschen dar. Dies lässt sich anhand des Siebenjährigen Krieges 1756 bis 1763, des Deutsch-Französischen Krieges 1870/71 sowie des Ersten und Zweiten Weltkrieges gut zeigen.

Als die Truppen der französischen Krone im Frühjahr 1757 die Rheingrenze überquerten, war dies der Anfang einer sechs Jahre andauernden Präsenz von Franzosen auf deutschem Boden. Die Einstellung gegenüber den Besatzern variierte je nach Region. In der grenznahen Pfalz erinnerte man sich an den Pfälzischen Krieg Ende des 17. Jahrhunderts, als die Franzosen den Landstrich zerstört hatten. Nun jedoch traten die beiden Länder als Verbündete auf und die Residenz-



Stationen

Alltag im Ersten Weltkrieg:
Deutsche Kriegsgefangene werden von
französischen Soldaten abgeführt.
Georges Scott schuf das Aquarellbild, das
1914 in der weit verbreiteten französischen
Wochenzeitschrift „L’Illustration“
erschien. Scott machte sich als Frontmaler
während des Ersten Weltkriegs einen
besonderen Namen.



*Über Jahrhunderte begegneten sich Deutsche und Franzosen vor allem auf den Schlachtfeldern.
Dies prägte das Bild vom jeweils anderen Land*

einer „Erbfeindschaft“

Propagandaplakate aus dem Zweiten Weltkrieg. Rechts: Werbung für den zivilen Arbeitseinsatz in Deutschland.

Darunter: Die nationalsozialistische Agitation fordert Arbeitskräfte, „um Europa vor dem Bolschewismus zu retten“

Unten: Das negative Image des deutschen Soldaten soll aufpoliert werden – „Flüchtlinge! habt Vertrauen zum deutschen Soldaten“

stadt Mannheim war zur Karnevalszeit regelmäßig Ort gemeinsamer Feste. Hingegen hatten der Norden des Reiches wie beispielsweise der Kurstaat Hannover bisher keine französischen Truppen erlebt.

Zeittypisch waren Kontakte der militäradeligen Eliten: In der sich gesamteuropäisch verstehenden Gemeinschaft dieser Elite verband das Kriegshandwerk, nicht die Zugehörigkeit zu einer Nation. Nach einer ausgestandenen Schlacht, im Wirtshaus oder im Salon des Herzogs, trafen sich hohe Offiziere beider Kriegsparteien bald als Reisende, bald als gegen Ehrenwort freigelassene Kriegsgefangene zum Gespräch. Oder sie taten es dem König von Preußen nach und pflegten per Briefe ihre Beziehungen untereinander.

Die Kontakte der Soldaten mit der Zivilbevölkerung waren durch logistische Belange bestimmt. Die Besatzungsdauer war regional unterschiedlich – von der achtmonatigen Okkupation in Hannover über die dreijährige in Göttingen bis hin zu der sechs Jahre anhaltenden in den preußischen Westprovinzen am Rhein. Die Versorgung der französischen Armee aus den mitgenommenen Magazinen funktionierte nur bei Kriegsbeginn. Spätestens seit 1761 kam es häufiger zu planlosen Beschlagnahmungen und Plünderungen. Insbesondere Geiselnahmen von Ratsherren als Mittel der Gelderpressung waren verbreitet und konnten zeitweise ein solches Ausmaß annehmen, dass die Erhaltung der Funktionsfähigkeit der lokalen Verwaltung stark beeinträchtigt wurde. Gräueltaten der Franzosen wie Vergewaltigungen oder Mordanschläge blieben jedoch die Ausnahme. Abseits der Schlachtfelder und Heerstraßen 26 arrangierten sich Bürger und Mili-



tärs, wie es der Kriegsbrauch vorsah: Die Ausschließung der Zivilbevölkerung vom Kriegsgeschehen einerseits und die Belieferung der Armeen mit Lebensmitteln andererseits gehörten fraglos dazu.

Der Deutsch-Französische Krieg 1870/71 verlief in zwei Phasen, in denen es zu unterschiedlichen Konfrontationen der Kriegsteilnehmer kam. In der ersten Phase, vom Beginn des Krieges im Juli 1870 bis zur Schlacht von Sedan am 1. September 1870, kämpften die preußischen und ihre verbündeten Soldaten gegen die des französischen Kaiserreichs. Auf den Vormarsch der deutschen Armee folgte die Besetzung eroberter Departements, und damit ergaben sich vielfältige Kontakte zwischen deutschen Soldaten und französischer Zivilbevölkerung.

Die deutsche Armee ernährte sich weitgehend aus dem Land des Gegners und war durchaus ein Wirtschaftsfaktor, da sie Geld in Frankreich ausgab. Die französische Zivilbevölkerung musste aber auf der anderen Seite Einquartierungen und die Beschlagnahme von Gebrauchsgegenständen und Nahrung erdulden. Weigerten sich die Einwohner eines Dorfes, die geforderten Leistungen zu erbringen, wurde der Ort zur Strafe beschossen. Dennoch galt in dieser ersten Kriegsphase der Grundsatz, dass friedliche Zivilisten durch das Kriegsrecht an Leib und Leben geschützt sein sollten. Die deutschen Proklamationen vom August 1870 versprachen den Einwohnern Schutz, drohten ihnen gleichzeitig jedoch schwere Strafen an, sollten sie die Waffen gegen die Deutschen erheben oder für die eigene Seite spionieren.

Die zweite Phase des Krieges dauerte vom Sturz des Kaiserreichs am 2. September 1870 bis zum Waffenstillstand im Januar 1871. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich bereits mehrere hunderttausend französische Soldaten in Kriegsgefangenschaft auf deutschem Boden, wo es zu begrenzten Kontakten mit der Zivilbevölkerung kam. Die Kriegsgefangenen waren in Festungen oder Lagern interniert, nur die Offi-



Ein einprägsames Bild des Elends: Deutsche Kriegsgefangene verbringen die Nacht zusammengepfercht hinter Stacheldraht. Das Gemälde von Lucien Jonas entstand 1917. Hinter der Front wurden häufig provisorische Lager errichtet, wo die Soldaten auf ihren Abtransport warten mussten.

ziere erhielten zum Teil in Bürgerhäusern Quartier.

In Frankreich hoben die Gründer der neu ausgerufenen Dritten Republik im Herbst und Winter 1870 freiwillige Ersatztruppen aus. Zwar wäre es übertrieben, von einem französischen Volkskrieg zu sprechen, aber die deutsche Armeeführung sah sich mit neuen Soldaten und einer unerwarteten Kampfweise konfrontiert. Die „Franktireurs“, wie die deutschen Soldaten die neuen Truppen vereinfachend nannten, sabotierten Eisenbahnlinien oder überfielen Transporte. Zum Teil waren diese Kämpfer weder uniformiert – und damit von Zivilisten nicht zu unterscheiden – noch einem Offizier unterstellt. Die deutsche Armeeführung antwortete mit zunehmendem Druck gegen die Zivilbevölkerung, die sie nun nicht mehr generell als friedliebend einstufte. Ganze Dörfer wurden verbrannt, weil man Verstecke oder Hinterhalte von Franktireurs dort vermutete, und zivile Geiseln auf Lokomotiven gebunden, um Transporte und Schienenstrecken zu sichern. Die Furcht der Deutschen vor diesem so genannten „kleinen

Krieg“ lebte bis in den Ersten Weltkrieg fort.

Die historische Erinnerung an die französischen Freischärlertruppen im Krieg von 1870/71 bildete den Hintergrund der Geiselnahmen und Massenerschießungen von Zivilisten sowie der Zerstörung von Kulturdenkmälern durch die deutschen Truppen, zu denen es besonders während des Bewegungskrieges im August und September 1914 kam. Französische Zeitungen berichteten fast täglich über die „atrocités allemandes“. Überrascht über den erbitterten Widerstand der Angegriffenen und über den Vernichtungswillen der Angreifer in diesem industrialisierten Krieg, warfen beide Seiten einander Misshandlungen und Verstümmelungen von Ver-

wundeten und Kriegsgefangenen vor.

Im Stellungskrieg ab November 1914 standen sich die gegnerischen Soldaten in zum Teil nicht einmal hundert Meter voneinander entfernten Schützengräben gegenüber. Die räumliche Nähe zum Feind stellte das Bild vom deutschen Barbaren zwar ebenso wenig in Frage wie die persönliche Begegnung mit deutschen Kriegsgefangenen. Doch sie begünstigte einzelne Akte der Menschlichkeit wie Vereinbarungen spontaner Waffenstillstände zur Bergung von Verletzten.

Zu Kontakten zwischen dem deutschen Militär und der französischen Zivilbevölkerung kam es vor allem in den zehn nord- und ostfranzösischen Departements, die 1914 unter deutsche Militärherrschaft kamen. In einer Zeit ohne Radio waren die Grenzregionen bis zu ihrer Befreiung fast völlig isoliert vom übrigen Frankreich. Die besetzten Gebiete dienten der deutschen Armee als Versorgungsquelle, Durchgangsort und Ruhequar-

Deutsche Besatzer während des Ersten Weltkriegs: Rüpelhafte deutsche Soldaten laden die französische Schlossherrin ein, mit ihnen auf die Gesundheit des Kaisers anzustoßen. Diese Beleidigung zwingt die vornehme Dame, sich mit versteinerten Miene vom Tisch zu erheben. Die Zeichnung, betitelt „Deutsche Höflichkeit“, wurde 1915 von Lucien Jonas geschaffen.





Die Zerstörung der Kathedrale von Reims im Jahre 1914 wirkte als Fanal und ist lange den Deutschen nachgetragen worden. Nicht nur aus Sicht der französischen Bevölkerung war diese Tat zu Beginn des Ersten Weltkriegs ein Beleg für das „Barbarentum“ und die „Kulturlosigkeit“ der deutschen Armee. In Propagandaschriften wurde „Reims“ immer wieder aufgegriffen.

Das Verhalten der deutschen Soldaten gegenüber der einheimischen Bevölkerung hing von der Art und Dauer ihres Einsatzes ab und reichte von Gleichgültigkeit über Arroganz bis zu Aggressivität bei der Beschlagnahme von kriegstauglichem Material und von großen Bürgerhäusern und Privatimmern. Zwar wurde der Widerstand einzelner Bürger gegen die Besatzungsherrschaft mit Deportation, Gefängnis oder Tod bestraft, aber die Exzesse der ersten Kriegswochen wiederholten sich während der mancherorts vierjährigen Besatzungszeit nicht mehr. Erst während des deutschen Rückzugs im Frühjahr 1917 und Herbst 1918 wurden in den besetzten Gebieten systematisch ganze Landstriche zerstört.

Nach dem Überfall auf Frankreich im Mai 1940 gelang es den deutschen Truppen, die französische Armee in einem verhältnismäßig kurzen Feldzug zur Kapitulation zu zwingen. Der von vielen – nach den Erfahrungen des Ersten Weltkrieges – befürchtete verlustreiche Stellungskrieg fand nicht statt. Hunderttausende waren vor den vorrückenden deutschen Truppen geflohen, weil sie, die „atrocités allemandes“ des Ersten Weltkrieges erinnernd, Übergriffe durch deutsche Soldaten befürchteten. Doch

Erst als immer mehr Franzosen zum zivilen „Arbeitseinsatz“ gezwungen wurden, fand die Résistance Zulauf

verlief der Akt der Besetzung selbst relativ unblutig. Das Land wurde in verschiedene Besatzungszonen aufgeteilt und einer deutschen Verwaltung unterstellt. Im südlichen Teil Frankreichs regierte das mit den Besatzern kollaborierende Vichy-Regime unter Marschall Pétain. Der deutschen Führung eröffnete sich so die Möglichkeit, Frankreich fast vier Jahre lang wirtschaftlich auszubeuten sowie ihre rassistischen bevölkerungspolitischen Vorstellungen durchzusetzen.

Die deutsche Herrschaft wurde durch eine zahlenmäßig relativ ge-

ringe, aber kontinuierliche militärische und polizeiliche Präsenz gesichert. Weite Teile der französischen Eliten kollaborierten und unterstützten so die Besatzer in ihrem Bestreben, „Ruhe und Ordnung“ aufrechtzuerhalten. Die weit überwiegende Mehrheit der Bevölkerung verhielt sich den Deutschen gegenüber zunächst zurückhaltend und passiv, zumal nur eine Minderheit der Franzosen – Juden und Kommunisten – Verfolgungen ausgesetzt war. Diese Zurückhaltung wurde durch eine intensive Propaganda der Deutschen und des Vichy-Regimes bestärkt. Nur eine verschwindende Minderheit leistete aktiven Widerstand, der bei großen Teilen der Bevölkerung zunächst auf Ablehnung stieß, da er stets rücksichtslose Repressionen wie Geiseler-schießungen durch die Besatzer nach sich zog. Erst ab 1942, als immer mehr Franzosen zum „Arbeitseinsatz“ nach Deutschland gezwungen wurden, erhielt die „Résistance“ größeren Zulauf. Es entwickelte sich ein Partisanenkrieg, dem die Besatzer immer schärfere Repressalien entgegensetzten. Die Alltagserfahrungen der in Deutschland arbeitenden, zeitweise über 1,3 Millionen französischen Zivilarbeiter und Kriegsgefangenen schließlich waren recht unterschiedlich. Ihre Arbeits- und Lebensbedingungen waren allerdings weit günstiger als die der Osteuropäer, und es konnten sich – in begrenztem Rahmen – durchaus private Beziehungen zu Deutschen entwickeln. Doch waren auch die französischen Arbeiter der Missgunst rassistischer „Volksgenossen“ und der Willkür der deutschen Sicherheits- und Polizeibehörden ausgesetzt.

Ewa Anklam
Heidi Mehrkens
Prof. Dr. Ute Daniel
Technische Universität
Braunschweig
Dr. Almut Lindner-Wirsching
Joachim Schröder
Prof. Dr. Gerd Krumeich
Universität Düsseldorf

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

► <http://opus.tu-bs.de/opus/volltexte/2005/699>

Neue Einblicke in den Fettstoffwechsel

Übergewicht zählt zu den Risikofaktoren für Diabetes. Welche Rolle spielt dabei die Verteilung des Fettgewebes im menschlichen Körper? Moderne bildgebende Verfahren erlauben hier neue Antworten

Schreibtischarbeit, wenig Sport in der Freizeit und kalorienreiche Ernährung, wer kennt ihn nicht, den Alltag in der Wohlstandsgesellschaft. Doch was als moderner Lebensstil gilt, fordert seinen Tribut. Diabetes mellitus Typ 2 heißt die Volkskrankheit, die in den vergangenen Jahren dramatisch zugenommen hat. Etwa sechs Prozent der Deutschen leiden mittlerweile an ihr. Forscher gehen davon aus, dass bis zum Jahre 2010 acht Millionen Menschen in Deutschland erkrankt sein werden. Früher noch als Alterszucker bekannt, der sich oft erst nach dem 40. Lebensjahr einstellte, sind heute immer mehr jüngere Menschen von der Krankheit betroffen.

Abgesehen von den unmittelbaren gesundheitlichen Einschränkungen erhöht Diabetes das Risiko von Schlaganfällen oder Herzinfarkten um ein Vielfaches und steigert damit die Kosten des Gesundheitssystems. Nicht zuletzt deswegen kommt der Vorbeugung von Diabetes eine wichtige Rolle zu. In der Forschung stellt sich nunmehr die Frage, ob es möglich ist, für jeden Menschen ein individuelles Risikoprofil bestimmen zu können, um so Personen mit hohem Risiko gezielt und systematisch vorbeu-

gend behandeln zu können. Idealerweise könnten damit individuelle Voraussagen bezüglich Notwendigkeit und Verträglichkeit von unterschiedlichen Gegenmaßnahmen möglich werden.

Neben der verminderten Produktion des blutzuckersenkenden Hormons Insulin ist die verminderte Wirksamkeit des Insulins, die so genannte Insulinresistenz, eine der Störungen, die zum Diabetes mellitus Typ 2 führen. Verantwortlich ist eine verminderte Empfindlichkeit insbesondere des Muskel-, Leber- und Fettgewebes gegenüber Insulin, die besonders häufig bei Men-

schen mit Übergewicht zu beobachten ist. Da etwa 85 Prozent der Patienten mit Diabetes übergewichtig sind, gilt die übermäßige Ansammlung von Fett im Gewebe, auch Adipositas genannt, als der wichtigste Risikofaktor für die Entstehung der Krankheit. Andererseits gibt es Menschen, die trotz ausgeprägten Übergewichts keinen überhöhten Blutzucker aufweisen oder relativ insulinempfindlich sind. Aber welche Faktoren aus dem Fettgewebe stellen die Verbindung zur Insulinresistenz dar? Was ist für die unterschiedliche Insulinempfindlichkeit von Personen mit gleichem Körper-

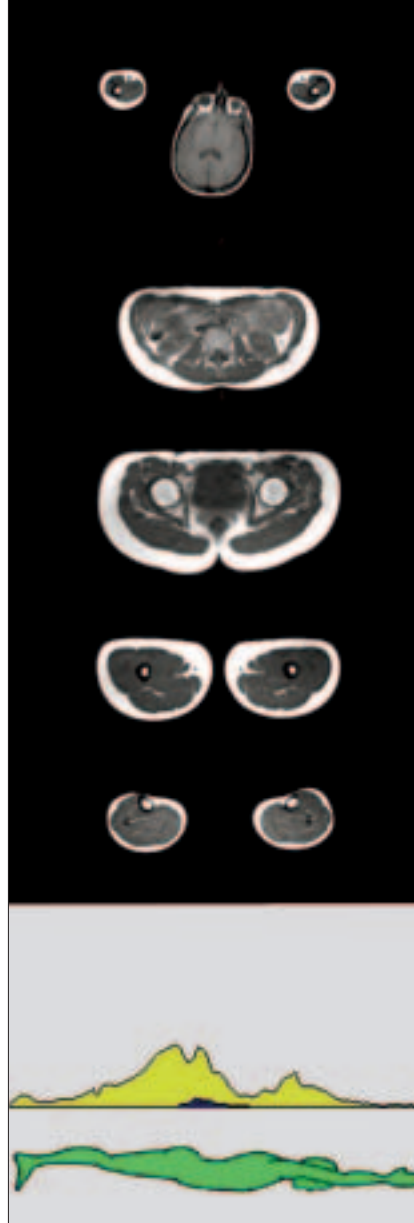


Untersuchung mit einem Magnetresonanz (MR)-Tomographen. Um die Verteilung des Körperfetts zu bestimmen, wird die Probandin in Bauchlage und mit ausgestreckten Armen Schritt für Schritt durch den Tomographen gefahren. So kann der ganze Körper von den Fingern bis zu den Zehen abgetastet werden.

fettanteil verantwortlich? Welche Rolle spielt die Verteilung des Fettgewebes im menschlichen Körper? Diesen Fragen gehen Wissenschaftler am Universitätsklinikum Tübingen im Rahmen des Tübinger Lebensstil-Interventionsprogramms, kurz TULIP-Studie, nach. Die Teilnehmer, in erster Linie Übergewichtige sowie Angehörige ersten Grades von Diabetikern, unterziehen sich hier über einen Zeitraum von zwei Jahren einem Ernährungs- und Sportprogramm mit dem Ziel, ihr Gewicht zu reduzieren und die körperliche Leistungsfähigkeit zu verbessern. Die Studie wurde im Sommer 2003 begonnen, in den ersten zwei Jahren wurden bereits 250 Teilnehmer untersucht.

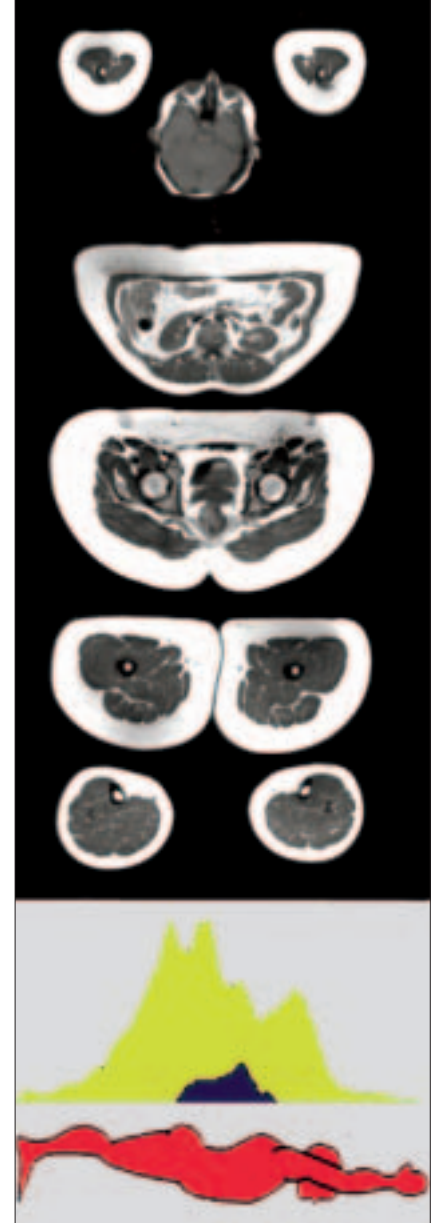
Ein wichtiger Aspekt der TULIP-Studie ist, die Körperfettverteilung vor und nach Veränderungen des Lebensstils in messbaren Daten zu erfassen. Als Standardverfahren zur Messung des Körperfettanteils anerkannt sind bisher das Unterwasserwiegen und die so genannte DEXA-Methode. Beim Unterwasserwiegen nutzt man die unterschiedlichen spezifischen Dichten von Körpergewebe. Bei der DEXA-Methode wird davon ausgegangen, dass verschiedene Körpergewebe Röntgenstrahlen in unterschiedlichem Maße abschwächen. Dadurch kann die Körpermasse in mageres Gewebe, fettes Gewebe und Knochen unterteilt werden. Außerdem haben sich kostengünstige Verfahren etabliert, die ohne Bestrahlung auskommen und auf Statistiken beruhen. Mit all diesen Methoden kann jedoch keine Aussage über die Verteilung des Fettgewebes im Körper gemacht werden. Nach neueren Erkenntnissen ist nämlich nicht nur der prozentuale Fettanteil am Gesamtkörpergewicht entscheidend dafür, dass ein Mensch Insulinresistenz entwickelt, sondern es kommt auch darauf an, wo das Fett im Körper eingelagert ist.

Das Unterhautfett und der Bauch sind die Bereiche, in die der Körper vorwiegend Fett einlagert. Normalerweise besteht eine Balance zwischen dem Abbau von Fettsäuren und der Fettspeicherung in der



Gleichgewicht gestört. Wenn bei zuviel Fettsäuren im Blut nicht mehr nur die eigentlichen Fettzellen Fett auf- und wieder abbauen, sondern auch andere Organzellen aus noch nicht genau bekannten Gründen Fett speichern, werden diese Zellen oft so gestört, dass sie weniger auf Insulin reagieren. Von großem Interesse ist daher auch der Fettgehalt verschiedener Organe, die an sich kaum Fett enthalten, von einer Insulinresistenz aber primär betroffen sind, wie zum Beispiel die Skelettmuskulatur oder die Leber.

Wie bereits erwähnt ist es dafür notwendig, in den Menschen hineinzuschauen und die Verteilung der Fettregionen von der Fingerspitze bis zum großen Zeh dreidimensional abzubilden. Das für diesen Zweck optimal geeignete



MR-Tomogramme im Vergleich: Links die Bilder verschiedener Körperregionen einer schlanken insulinresistenten Person und (rechts daneben) die eines übergewichtigen insulinresistenten Menschen. Das Fettgewebe wird deutlich heller dargestellt. Aus einer Serie von 120 Bildern lassen sich individuelle Fettprofile (gelb) gewinnen, die auch das Bauchfett (blau) abbilden.

Verfahren ist die Methode der Magnetresonanztomographie (MRT), die bei Beachtung gewisser Sicherheitsbestimmungen für den Organismus nicht schädlich ist. Sie ist eines der modernsten bildgebenden Verfahren und hat sich als Bestandteil der radiologischen Diagnostik fest etabliert.

Mit der MRT wird die Verteilung von Wasserstoffprotonen im Körper

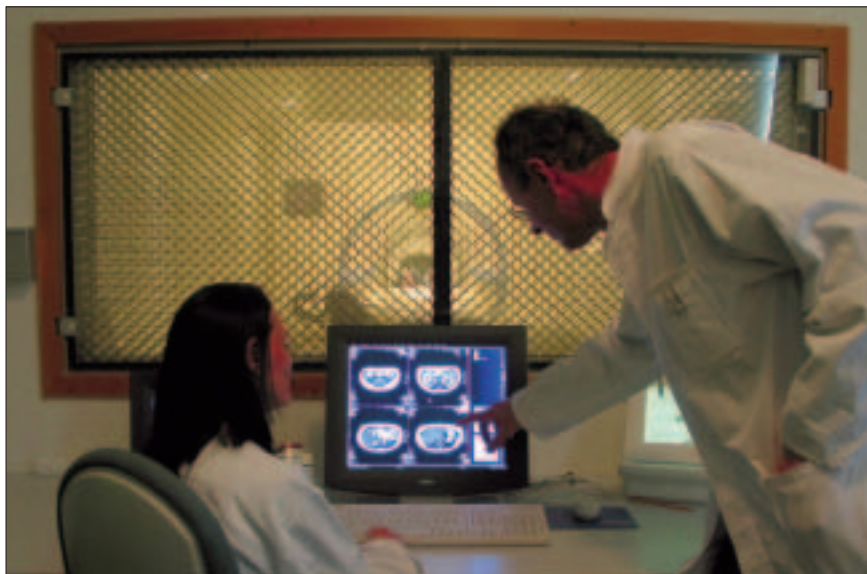
gemessen, wodurch Bilder von jeder gewünschten Ebene des Körperinneren erzeugt werden. Das Prinzip der Methode beruht auf dem Eigendrehimpuls der Protonen und der damit verbundenen Magnetisierung. Um letztere zu messen, werden die Patienten in einem Tomographen einem sehr starken, aber ungefährlichen Magnetfeld ausgesetzt. Strahlt man nun einen Hochfrequenzimpuls mit der Resonanzfrequenz der Wasserstoffprotonen ein, so wird die Magnetisierung aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt. Nach Abschalten des Impulses sendet der Patient Frequenzsignale aus, mithilfe derer ein Computer Bilder der einzelnen Körperschichten errechnen kann. Je nach Gewebeart sind die Signale oder die „Antworten der Kerne“ unterschiedlich stark und lang, was in verschiedene Helligkeitsstufen der einzelnen Bilder umgesetzt wird. Hier stellt sich Fettgewebe deutlich heller dar als das übrige Gewebe und kann mithilfe von speziellen Auswertungsprogrammen in seiner räumlichen Verteilung sichtbar und somit messbar gemacht werden.

Zur Messung des Körperfettanteils und zur Identifizierung der verschiedenen Körperfettbereiche wird im Rahmen der TULIP-Studie in einer Messzeit von etwa 20 Minuten eine Serie von 100 bis 120 Bildern der Testpersonen gemacht. Die Forscher erstellen so individuelle Fettprofile, die auch die genaue

Erfassung des so genannten viszeralen Fettgewebes, das die inneren Bauchorgane umgibt, ermöglicht. Das viszerale Fett ist stoffwechselbedingt besonders aktiv und seine Masse hängt eng mit der Insulinresistenz und dem Diabetesrisiko zusammen.

Zur Bestimmung von minimalen Fettanteilen in Muskel- oder Lebergewebe wird in Tübingen zusätzlich die Magnetresonanz-Spektroskopie eingesetzt. Von großem Interesse ist insbesondere der Gehalt kugelförmiger Fetttropfchen in den Muskelzellen. Aktuelle Studien belegen einen Zusammenhang dieser Fettform mit der Empfindlichkeit gegenüber Insulin. Insulinresistente Personen haben einen deutlich höheren Gehalt an Fetttropfchen als insulinempfindliche. Weiterhin scheint es einen Effekt dieser Fettdepots auf den Glukosestoffwechsel zu geben. Zudem unterliegen sie offenbar einer komplexen Regulation durch Hormone und genetische Faktoren. Somit ist es lohnend, zu erforschen, wie sich der Fettgehalt in den Muskeln bei

Die gewonnenen Tomogramme werden am Bildschirm kontrolliert. Im Hintergrund ist der MR-Tomograph zu sehen. Die Messungen werden vom Untersuchungsraum aus gesteuert, wobei ständiger Blick- und Sprechkontakt zu der untersuchten Person besteht.



einem anderen Lebensstil verändert und ob er ein positives Ansprechen der Insulinempfindlichkeit auf die Lebensstiländerung voraussagt.

Bei Untersuchungen zum Leberfettgehalt und zum viszeralen Fettgehalt liegen schon Ergebnisse der TULIP-Studie vor. Die ersten 100 Teilnehmer konnten nach neun Monaten ihr Körpergewicht im Mittel um 2,5 Prozent reduzieren, dagegen nahm der viszerale Fettgehalt um 14 Prozent und der Leberfettgehalt sogar um 32 Prozent ab. Die Veränderung des Lebensstils scheint also die für den Stoffwechsel kritischen Fettdepots besonders effektiv zu beeinflussen. Weiterhin zeigt sich, dass viszeraler Fettanteil und Leberfettgehalt eng miteinander verknüpft sind, gleichzeitig aber unabhängig voneinander entscheidende Faktoren der Insulinempfindlichkeit darstellen. Hat ein Teilnehmer zu Beginn der Studie einen hohen viszeralen Fettanteil, so hat er trotz intensiver Ernährungs- und Bewegungsbemühungen eine geringere Chance, seine Insulinwirkung und seinen Blutzucker zu verbessern.

Mit der Kombination aus unterschiedlichen Verfahren, die bei der TULIP-Studie angewandt werden, sind erstmals Messungen verschiedener Körperfette und die detaillierte Untersuchung des Fettstoffwechsels möglich. Die Langzeitbeobachtungen der Lebensstiländerung durch ein Ernährungs- und Trainingsprogramm bieten daher eine besondere Gelegenheit, Einblicke in die physiologischen Zusammenhänge zu gewinnen. Erkenntnisse über die Verbindung zwischen Körperfettverteilung und Verlauf der Insulinresistenz sowie anderen Messgrößen lassen letztlich Schlussfolgerungen zu, wie die vorbeugende Behandlung von Risikopatienten individuell optimiert werden kann.

*Dipl.-Phys. Jürgen Machann
PD Dr. Andreas Fritsche
Prof. Dr. Dr. Fritz Schick
Universitätsklinikum Tübingen*

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen einer klinischen Forschergruppe gefördert.

Das Monster von Aramberri

Vor 145 Millionen Jahren machte ein 50 Tonnen schweres Seeungeheuer den Golf von Mexiko unsicher. Sein vollständig erhaltenes Skelett wurde jetzt entdeckt

Sie ist heute eine malerische kleine Stadt mit etwa 13 000 Einwohnern im Bundesstaat Nuevo León im Nordosten Mexikos: Aramberri. Seit langem ist diese bekannt für ihre außergewöhnliche Kakteenflora. Berühmt geworden aber ist Aramberri wegen eines Seeungeheuers, das vor etwa 145 Millionen Jahren zur Zeit des oberen Jura 1,8 Kilometer vom heutigen Stadtzentrum entfernt sein Leben aushauchte.

Damals, im „Kimmeridgium“, einem Zeitabschnitt des oberen Jura, waren die bizarren Falten der Sierra Madre Oriental am Stadtrand von Aramberri ebener Meeresboden, 150 bis 200 Meter unter dem Meeresspiegel. Unaufhörlich regnete feiner Tonstaub vermengt mit toten Fischen, Ammoniten und anderen Meerestieren in die finstere Tiefe und verdichtete sich zu einem schwarzen, stinkenden Schlack, der die Tierleichen rasch begrub und konservierte. Sauerstoffmangel herrschte und keine Meeresströmung erreichte diese leblose Welt. Heute ist der schwarze Schlack zu braunem Sedimentgestein aus Ton und Kalk, so genannten Mergelbändern verdichtet, die voller Fossilien sind. Um einige der Tierleichen bildeten sich kalkige Knollen, genannt Konkretionen, in denen die Fossilien vor Druck geschützt die Jahrmillionen überdauern haben. Diese Fossilien sind meist dreidimensional erhalten, während diejenigen im Mergel platt sind wie Abziehbildchen.

Das Grabungsteam in Aramberri arbeitet an einer riesigen Konkretion. Sie hat einen Durchmesser von

gut sechs Metern und ist fast einen Meter dick. Am Rande sind die bläulichen Knochen jenes gewaltigen Meeressauriers sichtbar, der Aramberri berühmt gemacht hat. Trümmerstücke des steinernen Monstersarges sind über den ganzen Hang bis hinunter zu einem trockenen Bachbett gerollt und liegen jetzt zwischen Kakteen und Dornbüschen. In der Gluthitze wird mit Benzinhammer, Kreuzpickel und Geologenhammer gearbeitet. In der Monotonie der harten körperlichen Arbeit hat der Geist Zeit für Phantasien und für eine Reise in die Zeit,

Mit seinen 15 bis 18 Metern Länge war der Pliosaurier der Herr im Golf von Mexiko.

Unten: Ein 450 Kilogramm schwerer Gips- und Steinklotz mit Überresten des Meeressauriers muss ins Tal. Helfer legen Transportseile für den Helikopter an.

Daneben: Ein Präparator hat den Gipsmantel geöffnet und arbeitet sich mit dem Druckstichel durchs Gestein.





als hier noch Meeresboden war: Ein Ruck geht durch das Tauchboot. Die Halteseile spannen sich und das Forscherteam wird langsam nach oben gezogen. Über Bordfunk ist eben eine Pliosaurierwarnung eingegangen. Behäbig löst sich der Rumpf des Tauchbootes in einer schwarzen Schlammwolke vom Meeresboden. Überall liegen tote Fische, die meisten schon fast im weichen Schlick versunken. Der scheibenförmige Körper eines Schmelzschuppenfisches, Ammonitenschalen und der Arm eines Haarsternes schlingern durch das Scheinwerferlicht. Dann nimmt die „Kimmeridge“, das Forschungs-

schiff, langsam Fahrt auf, Kurs Aramberri-Insel, die mehr als 300 Kilometer vom Land entfernt ist. Mit jedem Meter wird das Wasser trüber. Diese Trübe ermöglicht das reiche Leben in den oberen Wasserschichten. Kühle Tiefenströmungen drücken Plankton über den Schelfrand nach oben, wo es sich mit dem warmen Oberflächenwasser mischt. Dort blühen die Mikroorganismen auf, Grundlage für eine der artenreichsten Nahrungsketten des oberen Jura.

Schwärme von Fischen: Neben den schwer gepanzerten Schmelzschuppen sind frühe Knochenfische zu entdecken, die pfeil-

schnell durch das Wasser jagen, wenn ein Hai auftaucht. Je höher das Tauchboot steigt, desto häufiger werden Ammoniten. Die meisten hängen wie Ballons im Wasser. Schemenhaft sind auch Fischesaurier zu erkennen. In kleinen Gruppen treiben sie Weichtiere wie Blemniten vor sich her. Der Grund für den Abbruch der Mission zeigt sich noch nicht. Es sind die gewaltigsten Beutegreifer, die diese Welt je gesehen hat: Pliosaurier.

Als sich die Aramberri-Insel im trüben Blau der See abzeichnet, wird das Tauchboot von einem gewaltigen Schlag erschüttert. Die vier Meter lange Flosse, die an den Bullaugen vorbeizieht, macht sofort klar, dass das Boot von einem Pliosaurier gerammt wurde. Aufzeichnungen und Geräte fliegen durch die Kabine, als das Tauchboot über den Rücken des riesigen, etwa 50 Tonnen schweren Monstrums hinwegrumpelt. 15 bis 18 Meter mag es lang sein. Die beiden Flossenpaare bewegen sich wie gigantische Flügel abwechselnd auf und nieder. Der Körper mit dem kurzen Schwanz

wirkt fast wie der einer Meeresschildkröte. Der Hals ist fast so lang wie der Rumpf und dick wie ein Baumstamm. Der Kopf ist über drei Meter lang und bestückt mit kegel-förmigen Zähnen, von denen die längsten über 20 Zentimeter messen. Als der Meeressaurier eine Linkskurve schwimmt, ist das von einem Lid überzogene kleine Auge an dem mächtigen Schädel zu sehen, der von Narben gezeichnet ist. Eine dieser Narben bildet eine tiefe Grube hinter dem linken Auge. Dann fällt der Blick in einen fürchterlichen Rachen. Zwischen den furchigen Zähnen hängen bleiche Fleischfetzen, die wie Papiertaschentücher in der Strömung flattern. Was dann passiert, lässt das

Blut in den Adern gefrieren. Aus dem Nichts ist er aufgetaucht; keiner hatte ihn bemerkt, auch der Pliosaurier nicht. Zu spät versucht der schwerfällige Meeresriese seine Richtung zu ändern, als die fast fünf Meter langen Kiefer eines zweiten Pliosauriers zupacken. Wie 40 Zentimeter lange Dolche bohren sich die Zähne in den Schädel des anderen. Das dumpfe Krachen der Knochen dringt durch die Bootswand. Der kleine Pliosaurier zieht seinen Kopf weg, als der Angreifer nachfassen will. Er taucht unter dem Riesenkörper des Angreifers weg, eine Schleppe von Blut hinter sich herziehend. Langsam versinkt der tödlich verletzte Pliosaurier in der Finsternis, während der An-

Gruppenbild mit Saurier. Bürgermeister, Gemeinderat, Lehrer und Schulkinder umringen staunend die weiße Silhouette des Meeresmonsters. Unten: An der Ausgrabungsstelle von Aramberri hat das Team mit Freiwilligen und Arbeitern den halben Berg abgetragen. Daneben: Vorarbeiter Artemino mit dem unersetzlichen Presslufthammer „Juan“.





greifer auftaucht, um Luft zu holen. Für eine schnelle Wende ist er zu massig und gibt die Verfolgung sofort auf.

„Mittagspause!“ Das wohlthuende Wort nach gut drei Stunden Schuferei bringt den Grabungsalltag zurück. Alles Phantasie, mag der geneigte Leser denken. Dem ist aber nicht so. Es gibt sichere Belege dafür, dass das Monster von Aramberri vor 145 Millionen Jahren seinen Meister fand. Die Dornfortsätze, die sich ohne zu brechen von den Wirbelkörpern gelöst haben, belegen, dass der Pliosaurier trotz seiner 15 bis 18 Metern Länge ein Jungtier war. Etwa ein Viertel seines Skelettes konnte bisher ausgegraben werden; die Knochen bieten

Indizien für die letzten Wochen des Ungeheuers. Ein Biss in den Schädel traf die Oberseite des linken Flügelbeins und drang noch tief in den Knochen ein. Der Zahn muss also von der Schläfe her die gesamte Schädelhöhe durchschlagen haben, um eine solche Wunde zu hinterlassen. Dafür ist eine mindestens 40 Zentimeter große Zahnkrone nötig. Dass der Knochen verheilt ist, beweist, dass das Monster von Aramberri diesen Biss überstanden hat. Eine zweite Wunde auf einem anderen Schädelknochen war dagegen tödlich: Ihre Ränder sind scharfkantig, kein Zeichen von Heilung. Kurz vor seinem Tod hatte der Riesenpliosaurier aber noch Jagdglück. Angedauter Knochentrüm-

Das eingegippte Beckenstück des Pliosauriers wird aus der Grube gehievt und soll mit der Holzleiter zum Transportplatz geschafft werden. Da keine Straßen zum unwegsamem Grabungsgelände führen, muss der Koloss mit dem Hubschrauber wegbefördert werden. Unten: An der Ausgrabungsstelle herrschen oft über 40 Grad im Schatten – Extrembedingungen für das Team.

mer der letzten Mahlzeit fanden sich in seinem Magen.

Was 1985 mit einem Zufallsfund begann, ist heute zu einem deutsch-mexikanischen Forschungsprojekt geworden. Im Jahr 2003 stellte der neu gewählte Gouverneur von Nuevo León einen Hubschrauber zur Bergung eines 450 Kilogramm schweren Bruchstückes zur Verfügung. Er genehmigte auch den Bau einer Straße zur Fundstelle, die während der Kampagne des Jahres 2004 fertig gestellt wurde. Damit ist die Infrastruktur zur Bergung der gigantischen Konkretion geschaffen, die jetzt auf drei Meter Tiefe freigelegt ist. Auf der Oberfläche sind die Umrisse großer Knochen erkennbar. Wie tief die Konkretion in den Berg hineinreicht, ist noch nicht klar, aber mit Hilfe eines Baggers schnell herauszufinden. Erst nach der Präparation wird der Pliosauriertyp feststehen. Handelt es sich um einen neuen Art? Steht er eher den europäischen oder den pazifischen Pliosauriern nahe? Oder ist das Monster gar einzigartig und nur heimisch gewesen im Golf von Mexiko? Eines ist aber jetzt schon sicher: Es handelt sich um das weltweit größte bekannte und vollständigste Skelett eines Pliosauriers, der zur Zeit des Jura den Urgolf von Mexiko unsicher machte, damals kaum 2000 Kilometer von Karlsruhe entfernt, wo seine Reste heute präpariert und untersucht werden.

*PD Dr. Eberhard Frey,
Staatliches Museum für Naturkunde
Karlsruhe*

*Prof. Dr. Wolfgang Stinnesbeck,
Dipl. Biol. Marie-Céline Buchy,
Universität Karlsruhe*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Der gestrickte Hochleistungsrotor

Nicht nur Industrie und Maschinenbau verlangen nach immer leistungsfähigeren Rotoren, die höchsten Beanspruchungen standhalten. Starke Textilien können helfen und den Bau von federleichten Hochleistungsrotoren unterstützen

Viele elektronische Maschinen in unserer modernen Welt benötigen sie: Hochleistungsrotoren. Darunter versteht man die drehenden (rotierenden) Teile einer Maschine, zum Beispiel in einem Elektromotor, einer Bio-Zentrifuge oder in einer Pumpe. Auch in der Bio-, Gen- und Nanotechnologie werden solche Komponenten immer wichtiger, um beispielsweise Trennverfahren bioverträglich und bei hohen Temperaturen durchzuführen. Ebenso verlangen chemische Industrie, Maschinenbau und Fahrzeugproduktion nach leichteren Rotoren, die jedoch immer höhere Anforderungen aushalten sollen: extreme Fliehkräfte und hohe Temperaturen, chemische Einflüsse und Verschleiß.

Herkömmliche Werkstoffe können die heutigen Ansprüche meist nicht mehr optimal erfüllen. Deshalb sucht die Forschung nach Möglichkeiten, um neue Materialien sozusagen maßzuschneidern. Das ist im Falle einer Forschergruppe an der Technischen Universität Dresden durchaus wörtlich zu nehmen. Die Wissenschaftler bearbeiteten das Thema „Textile Verstärkungen für Hochleistungsrotoren in komplexen Anwendungen“ und haben dabei Textilfasern so stark gemacht, dass sie im Verbund mit anderen Werkstoffen höchsten Beanspruchungen standhalten.

Leichtbau- und Kunststoffexperten, Textil- und Bekleidungstechniker sowie Festkörpermechaniker und Akustikfachleute entwickelten gemeinsam durch Textilien verstärkte „Kunststoffverbunde“ und

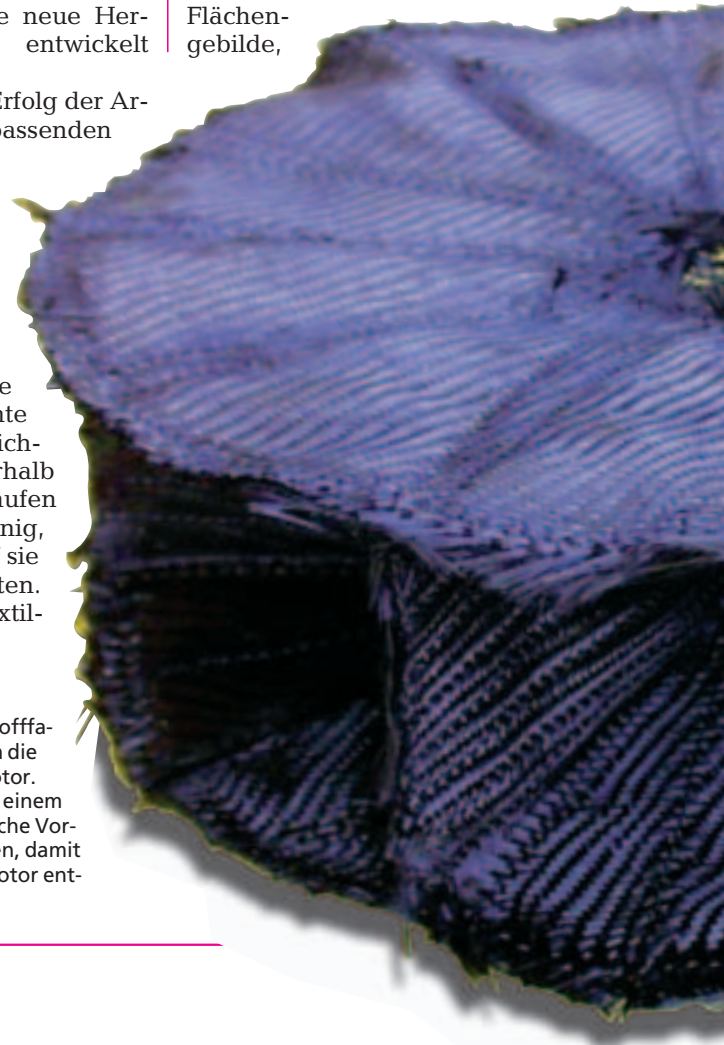
testeten ihre Belastbarkeit am Beispiel einer neuen Generation von Hochleistungsrotoren. Die Aufgabe der interdisziplinären Forschergruppe bestand darin, geeignete Kombinationen von Werkstoffen auszuwählen, textile Kunststoffprodukte zu gestalten oder verschiedene Berechnungen oder Simulationen und prüfende Messungen auszuführen. Außerdem sollten die Festigkeit des Materials und der Bauteile erprobt sowie neue Herstellungstechnologien entwickelt werden.

Wesentlich für den Erfolg der Arbeit war die Wahl der passenden Werkstoffe. Als Prämisse galt: Die Fasern müssen so ausgerichtet sein, dass sie die physikalischen Kräfte, die auf sie einwirken, optimal aufnehmen. Dieses Ziel erreichte die Forschergruppe durch eine so genannte variabelaxiale Ausrichtung: Die Fasern innerhalb des Bauteils verlaufen dabei nicht geradlinig, sondern folgen den auf sie einwirkenden Kräften. Das Ergebnis: Der textil-

verstärkte Kunststoffverbund machte das neue Produkt um rund 55 Prozent leichter als vergleichbare Rotoren aus Metall.

„Commingling-Hybridgarne“ nennt der Fachmann den dafür geeigneten Materialmix. Dabei werden Kohlenstofffasern und Kunststofffasern gleichmäßig durchmischt und zu einem Garn verarbeitet. Dieses textile Material muss danach zu einem Flächengebilde,

Textile Flächen aus Kohlenstofffasern und Thermoplast bilden die Grundlage für den neuen Rotor. Kleines Bild: Im „Autoklav“, einem Spezialofen, wird die elastische Vorform gespannt und gebacken, damit am Ende ein Hochleistungsrotor entsteht.



der so genannten Preform, „gestrickt“ werden, sodass es den physikalischen Anforderungen eines Rotors standhält. Es darf sich weder zu stark verformen noch reißen. Für die Werkstoffe des Kunststoffverbunds besteht eine Aufgabenteilung: Die Kohlenstofffasern sorgen für die Unnachgiebigkeit und Festigkeit, während der so genannte Hightech-Kunststoff PEEK das fertige Bauteil resistent gegen Chemikalien macht. Darüber hinaus sorgt er dafür, dass das Bauteil steril ist, keine allergischen oder toxischen Reaktionen hervorruft und hohe Temperaturen aushält.

Entsprechende Garne stellte die Dresdner Forschergruppe selbst her. Dabei entstanden insgesamt 40 Materialvarianten. Sie wurden zu textilen Probestücken verarbeitet und gründlich getestet. Wissenschaftler der TU Dresden modifizierten dafür klassische Textilverarbeitungsverfahren wie Spinnen, Wirken und Stricken. Außerdem entwickelten sie eine neue roboter-

gestützte Nähtechnik, die sowohl im ebenen als auch

im räumlichen Bereich arbeitete. Auf diesem Wege war es möglich, auch Teile mit komplexen Geometrien miteinander zu verbinden.

Die gewünschte Festigkeit erhielt das zunächst noch weiche Leichtgewicht durch „Backen“ im Autoklav, einem Spezialofen. In diesem wurde die Kunststoffkomponente des Garns bei hohen Temperaturen von 400 Grad Celsius aufgeschmolzen und gleichzeitig die Preform unter Druck in eine Form gepresst, sodass nach dem Abkühlen und Erstarren ein fertiges Bauteil vorlag. Anfangs stellten die Forscher nur



einzelne Rotorkomponenten her. Dank besonderer Formwerkzeuge und Spannsysteme perfektionierten sie das Verfahren und produzierten nunmehr den Rotor „in einem Schuss“. Die metallischen Einlegeteile wurden dabei gleich mit „eingebacken“. Wesentlicher Bestandteil der Forschungsarbeit war auch die Untersuchung der Spannungen, die zwischen den einzelnen Schichten des Kunststoffverbundes auftraten. Die neuen Ergebnisse trugen wesentlich dazu bei, allmähliche Bruchvorgänge der Verbunde zu klären und mit geeigneten Maßnahmen gegenzusteuern. So entwickelte die Forschergruppe Verfahren, die dem Bauteil eine hohe Festigkeit verliehen. Ein spe-

zielles Nähverfahren mit schräger Nahtführung sorgte beispielsweise dafür, dass das textile Produkt an den hoch beanspruchten Stellen zusätzlich verstärkt werden konnte.

Bevor der Rotor schließlich seinen ersten Einsatz bestand, wurde er „auf Herz und Nieren“ geprüft. Schon als dreidimensionales Computermodell musste er viele Tests bestehen. Mithilfe der Rechentech- nik simulierten die Forscher verschiedene Einsatzfälle, um zu ermitteln, unter welchen Voraussetzungen das Bauteil versagen könnte. Diese Vorhersagen konnten durch Experimente bestätigt werden.

Die Belastbarkeit der realen Rotoren bis zum Bersten wurde ebenfalls auf dem Prüfstand intensiv untersucht. Um die Verformung der Rotoren zu analysieren, wurden Sensoren und Messelemente in das Bauteil integriert. Dafür wurde ein neuartiges Verfahren entwickelt, das die Verformung sowohl

im Innern als auch auf der Oberfläche messen konnte. Dabei wurde auf dem Bauteil ein dehnungsempfindliches Messelement angebracht. Außerdem wurden Sensoren in die textile Verstärkungsstruktur integriert. Zusätzlich wurde ein spezieller Risswerkstoff eingebaut, zum Beispiel metallisches Glas, dessen Brüchigkeit knapp unter der des Bauteils lag. Am Versagen des Risswerkstoffes konnte dann abgelesen werden, wann ein Versagen des Bauteils drohte. Mithilfe solcher intelligenten Materialien konnte der Rotor im Betriebszustand optimal überwacht werden.

*Prof. Dr.-Ing. habil.
Werner Hufenbach
Technische Universität Dresden*

Die Studien wurden im Rahmen der Forschergruppe 278 „Textile Verstärkungen für Hochleistungsrotoren in komplexen Anwendungen“ von der DFG gefördert.

► www.tu-dresden.de/mw/ilk/for278

37



Als der Nordpol noch eisfrei war

Bei einer Expedition ins zentrale Nordpolarmeer wurden Sedimentkerne erbohrt. Diese geben überraschende Auskünfte über das Auf und Ab der Klimaentwicklung – und spiegeln einschneidende Umweltveränderungen wider

Bremen, 9. November 2004. Auf diesen Tag haben die Wissenschaftler der Arctic Coring Expedition lange gewartet. 32 Geologen, Paläontologen, Chemiker, Mikrobiologen und Vertreter weiterer Disziplinen aus zehn Nationen treffen sich an diesem Morgen im Sedimentkernlager des Integrated Ocean Drilling Program (IODP) an der Universität Bremen. Der zwei-stöckige Klinkerbau am Europahafen war einst Lagerhalle für Tabak, Baumwolle und Stückgut. Inzwischen ist er zur geowissenschaftlichen Schatzkammer mutiert. „In unseren Hochregalen lagern gut 75 Kilometer Sedimentkerne – erbohrt am Grund des Atlantiks, des 38 Mittelmeers und des südpolaren

Ozeans; säuberlich zerteilt in je ein-einhalb Meter lange Abschnitte, verpackt in weißen Kunststoffbehältern“, sagt Professor Gerold Wefer, Direktor des DFG-Forschungszentrums Ozeanränder.

Vor kurzem sind neue, besonders wertvolle 340 Meter Meeresablagerungen hinzugekommen: Sie wurden im August und September 2004 während einer sechswöchigen Expedition unweit des Nordpols erbohrt. „Mit dieser Arctic Coring Expedition haben wir es erstmals geschafft, in nennenswerter Menge Sedimentkerne im zentralen Nordpolarmeer zu gewinnen“, sagt Expeditionsleiter Jan Backmann, Geologieprofessor an der Universität Stockholm.

Tromsø, 7. August 2004. Um Mitternacht heißt es für die „Oden“ „Leinen los!“. Von Nordnorwegen bricht der 108 Meter lange, 31 Meter breite und 24 000 PS starke schwedische Eisbrecher gen Nordpol auf. In seinem Kielwasser folgt die „Vidar Viking“. Der 84 Meter lange Schlepper, der sonst Ölbohrinseln versorgt, war in den Wochen zuvor zu einer polaren Bohrplattform umgerüstet worden. Mittschiffs steht jetzt ein 34 Meter hoher Bohrturm. 19 Wissenschaftler aus acht Nationen, darunter auch Mitarbeiter des Fachbereichs Geowissenschaften der Universität Bremen sowie des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven, sind in Tromsø an



Bord gegangen. Gut sechs Wochen werden sie in der weißen Einöde verbringen.

10. August 2004. Nordwestlich von Franz-Joseph-Land, auf knapp 82 Grad nördlicher Breite, treffen die beiden Schiffe auf die „Sovetskiy Soyuz“. Der atomgetriebene 148 Meter lange russische Eisbrecher vervollständigt den Konvoi zum Pol. Seine 75 000 PS sollen sicherstellen, dass die Expedition ihre Ziele erreicht. Im Arbeitsgebiet ist mit einer nahezu geschlossenen Eisdecke zu rechnen. Durch wechselnde Winde und Meeresströmungen ändern sich Richtung und Geschwindigkeit des driftenden Eises ständig. Daher fällt es selbst einem relativ starken Bohrschiff wie der „Vidar Viking“ schwer, die Position zu halten. Dies aber ist während der Bohrphase unbedingt geboten, weil sonst die Gefahr besteht, dass das Bohrgestänge bricht. An den Bohrorten werden „Oden“ und „Sovetskiy Soyuz“ jeweils unweit des Bohrschiffs in Position gehen, um die riesigen, teilweise bis zu vier Meter dicken Eisschollen so weit zu zerkleinern, dass diese für die „Vidar Viking“ keine Gefahr mehr darstellen.

Wissenschaftliche Bohrungen im Nordpolarmeer sind kostspielige Unterfangen. Deshalb können derartige Projekte nur im Rahmen einer internationalen Kooperation wie dem 2003 angelaufenen Integrated Ocean Drilling Program

(IODP) durchgeführt werden. Es wird von den USA, von Japan und dem European Consortium on Research Drilling (ECORD) getragen. In ECORD haben sich 14 europäische Nationen sowie Kanada zusammengeschlossen. Das Konsortium führt spezielle Bohrkampagnen – etwa in flachen Küstenmeeren oder eisbedeckten Regionen – durch, die für die IODP-Bohrschiffe „Joides Resolution“ und „Chikyu“ nicht zugänglich sind. Für die technische Durchführung und Qualitätssicherung der wissenschaftlichen Datenerhebung dieser Unternehmungen zeichnet der ECORD Science Operator (ESO) verantwortlich. Er wird vom British Geological Survey koordiniert. Zudem ist die Universität Bremen einer der drei ESO-Hauptpartner und unter anderem mit dem IODP-Bohrkernlager, dem einzigen in Europa, beteiligt. Die 12,5 Millionen Dollar teure Arctic Coring Expedition war der erste europäische Beitrag zum „Integrated Ocean

Szenen einer Expedition im Nordpolarmeer: Ein Helikopter startet zum Eiserkundungsflug. Im Hintergrund ist das Bohrschiff „Vidar Viking“ zu sehen. Links: An Bord sind die Wissenschaftler auf Arbeits- und Laborcontainer angewiesen. Unten: Der atomgetriebene Eisbrecher „Sovetskiy Soyuz“ zerkleinert die Eisschollen so, dass sie für das Bohrschiff keine Gefahr mehr darstellen.



Drilling Program“. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist daran mit 2,25 Millionen Dollar beteiligt. Neben der DFG spielt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover im IODP-Konzert eine wichtige Rolle. Sie koordiniert die deutschen wissenschaftlichen Beiträge zum internationalen Meeresforschungsprogramm.

1. September 2004. Das Thermometer zeigt minus 5 Grad Celsius. Bei leichtem Nordwind und klarem Himmel kommen die Bohrarbeiten gut voran. Mit Hilfe der „Oden“ und der „Sovetskiy Soyuz“ kann die „Vidar Viking“ bereits seit 125 Stunden auf Position gehalten werden. Trotz einer Eisbedeckung von 80 bis 100 Prozent ist das Bohrschiff nie mehr als 20 Meter von der Sollposition abgewichen. Die 427 Meter mächtige Sedimentschicht auf dem untermeerischen Lomonosov-Rücken ist bereits bis auf die letzten 40 Meter durchdrungen.

Die neun Mikropaläontologen der Expedition haben alle Hände voll zu tun. Sie kümmern sich um die Biostratigraphie, das heißt die Altersfolge der erbohrten Ablagerungen. Zwar werden die in Kunststoffzylindern befindlichen Kerne erst in Bremen geöffnet. Doch aus jedem der 4,5 Meter langen Bohrkern werden kleine Proben entnommen. Die analysieren die Wissenschaftler auf alle gängigen Mikrofossilgruppen, um so zu einer Altersabschätzung des Sediments zu kommen.

Zwei Tage später trifft der Bohrer auf den harten Sandstein des Lomonosov-Rückens. Am Sonntag, dem 5. September, gegen 14 Uhr, wird der letzte Bohrkern auf das Arbeitsdeck der „Vidar Viking“ gehievt. Die Expedition nimmt wieder Kurs auf Tromsø.

November 2004. Knapp zweieinhalb Monate nach dem Ende der Expedition werden im Rahmen der „Onshore Science Party“ die nördlichen Ablagerungen in Bremen 40 wissenschaftlich untersucht. Über

zwei Wochen lang werden Kerne mit einer Gesamtlänge von 340 Metern geöffnet. Sie wurden an vier Orten während insgesamt sechs Bohrungen gewonnen und umfassen einen Zeitraum von 80 Millionen Jahren.

Die oberen 160 Meter der Kerne dokumentieren den Klimawandel der letzten 15 Millionen Jahre nahezu komplett, während die unteren 200 Meter das mittlere und ältere Paläozän, die Zeit bis vor knapp 56 Millionen Jahren abbilden. Allerdings ist die Sedimentabfolge nicht vollständig. Aus noch ungeklärten Gründen fehlen Ablagerungen aus der Zeit zwischen 15 und rund 35 Millionen Jahren vor heute.

Die Untersuchungen ergeben, dass die Klima- und Umweltgeschichte im zentralen Nordpolarmeer mit dem Auf und Ab der globalen Klimaentwicklung einherging. Dabei spiegeln die Meeresablagerungen einschneidende Veränderungen in der Umweltentwicklung wider.

Mikrofossilien belegen, dass das Nordpolarmeer vor ungefähr 55 Millionen Jahren subtropisch warm war. Temperaturen von 20 Grad Celsius an der Meer

soberfläche sind durchaus vorstellbar. Damit konnte das weltweite Temperaturmaximum am Übergang vom erdgeschichtlichen Paläozän zum Eozän erstmalig eindeutig im Nordpolarmeer nachgewiesen werden.

Doch die Kerne warten mit weiteren Überraschungen auf: Süßwasseralgen und insbesondere das massive Auftreten von Süßwasserfarnen im mittleren Eozän vor 49 Millionen Jahren weisen darauf hin, dass, anders als bislang vermutet, die Zufuhr von Süßwasser aus den Flüssen der umgebenden Kontinente eine wichtige Rolle im hydrologischen Kreislauf des Nordpolarmees gespielt hat. Kieselsäure- und kohlenstoffreiche Sedimente im mittleren Eozän sprechen für eine im Vergleich zu den heutigen Bedingungen wesentlich höhere bio-

Die erbohrten Kerne können den Klimawandel während der letzten 15 Millionen Jahre nahezu komplett dokumentieren





Ist die Eisdecke durchbrochen, können die Bohrungen beginnen. Im Notfall kann auch ein Helikopter auf dem Wasser landen. Die Sedimentproben werden bereits im Geolabor des Expeditionsschiffs begutachtet und mit Hilfe einer Farbskala beschrieben. Auf der Hut: Ein Gewehr zum Schutz vor neugierigen Polarbären

logische Produktivität im Oberflächenwasser. Diese Befunde weisen auf eine hohe pflanzliche Produktion im gleichen Zeitabschnitt hin.

Sand und vereinzelte Kiespartikel, die möglicherweise mit Meereis und Eisbergen auf das Nordpolarmeer transportiert wurden, treten während der letzten 15 Millionen Jahre regelmäßig auf. Das spricht dafür, dass Meereis im Klimasystem des Nordpolarmeers in diesem Zeitraum eine wichtige Rolle spielte.

Besonders spektakulär sind Funde einzelner Kieselsteinchen aus dem mittleren Eozän, der Zeit vor 40 bis 46 Millionen Jahren. Diese müssen mit Eisschollen oder Eisbergen vom angrenzenden Festland auf das Nordpolarmeer transportiert worden sein und weisen auf kalte Klimabedingungen zu einer Zeit hin, als sich in der westlichen Antarktis erstmals kontinentale Eisschilde bildeten. Das ist erstaunlich. Bislang gingen Wissenschaftler davon aus, dass die ersten Vereisungsspuren in der Antarktis weit früher als in den hohen nördlichen Breiten auftraten. Müssen wir also unser Klimaweltbild revidieren? Setzten die Vereisungen in der Arktis und Antarktis zeitgleich ein? Bislang kann über solche Fragen nur spekuliert werden.

*Albert Gerdes
DFG-Forschungszentrum
Ozeanränder
an der Universität Bremen
Dr. Jens Matthiessen
Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
Bremerhaven*

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft trägt zur Finanzierung des deutschen Beitrages zum IODP bei und fördert die wissenschaftlichen Untersuchungen durch das Schwerpunktprogramm „Integrated Ocean Drilling/Ocean Drilling Program.“





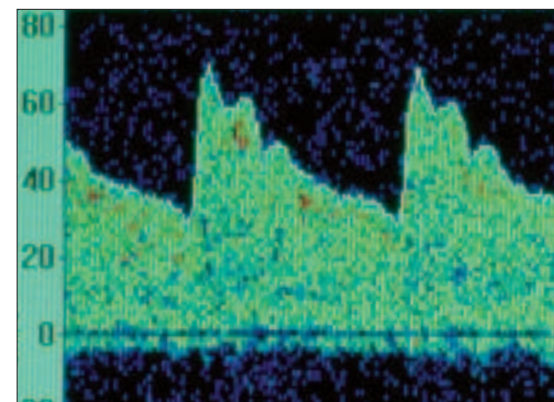
Der Blutdruck und das Alltagsleben

Beeinträchtigt chronisch niedriger Blutdruck die Leistungsfähigkeit des Gehirns? Leistungstests und moderne Messverfahren geben in neuer Weise Auskunft

Menschen, die wegen Beschwerden wie Schwindel oder Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten oder genereller Leistungsminderung zum Arzt gehen, hören oft die Diagnose „zu niedriger Blutdruck (Hypotonie)“. Gleichzeitig teilt man ihnen zumeist mit, dass dies ein unbedenklicher Zustand sei. Die Hypotonie besitzt nach Ansicht der meisten Mediziner keinen eigentlichen Krankheitswert, ungeachtet der oft beeinträchtigenden subjektiven Sympto-

me der Betroffenen. Allerdings kommt es wegen der Beschwerden häufig zu Arztbesuchen und Fehlzeiten, so dass die Hypotonie aus gesundheitsökonomischer Sicht keineswegs vernachlässigbar ist. Inwieweit diese Symptome, insbesondere im Bereich mentaler Leistungen, tatsächlich empirisch nachvollziehbar sind und ob diese auf einer nachweisbaren Regulationsstörung von Gehirnfunktionen beruhen, war bislang in der psychologischen Grundlagenforschung eine

offene Frage. Legt man die Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zugrunde, wonach die Hypotonie bei einem oberen Blutdruckwert kleiner als 100 vorliegt, so sind etwa drei Prozent der Bevölkerung, vorwiegend jüngere Frauen, davon betroffen. Im Vergleich mit dem Bluthochdruck, dessen Risikopotenzial für Herz-Kreislauf-Erkrankungen unbestritten ist, kann die Hypotonie sicher als ungefährlich gelten. Aufgrund der geringeren Druckbelastung der Blutgefäße wird den Betroffenen sogar eine überdurchschnittliche Lebenserwartung bescheinigt. Meist liegt



In diesem psychologischen Konzentrationstest müssen so schnell wie möglich alle „d“ markiert werden, die von zwei Strichen umgeben sind. Eine neue Studie zeigt, dass Menschen mit niedrigem Blutdruck mehr Fehler als Probanden mit normalen Blutdruckwerten unterlaufen.

der Hypotonie keine feststellbare körperliche Ursache zugrunde. Allerdings tritt sie gehäuft bei Menschen mit niedrigem Körpergewicht, wenig körperlicher Bewegung und bei zu geringer Flüssigkeitsaufnahme auf.

Vor diesem Hintergrund wurden Menschen mit niedrigem Blutdruck zunächst psychologischen Leistungstests unterzogen, die Gedächtnis-, Rechen- und Konzentrationsaufgaben enthielten. Tatsächlich schnitten sie in fast allen Tests deutlich schlechter ab als Probanden mit normalem Blutdruck, wobei die größten Schwierigkeiten die Aufgaben zur Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit bereiteten. Natürlich ist das Ausmaß dieser Leistungsminderungen nicht mit kognitiven „Ausfällen“ zu vergleichen, wie sie bei Hirnverletzungen oder neurologischen Erkrankungen auftreten. Und doch sind sie groß genug, um im Alltagsleben, etwa bei bestimmten beruflichen Anforderungen oder im Straßenverkehr, zu Beeinträchtigungen zu führen.

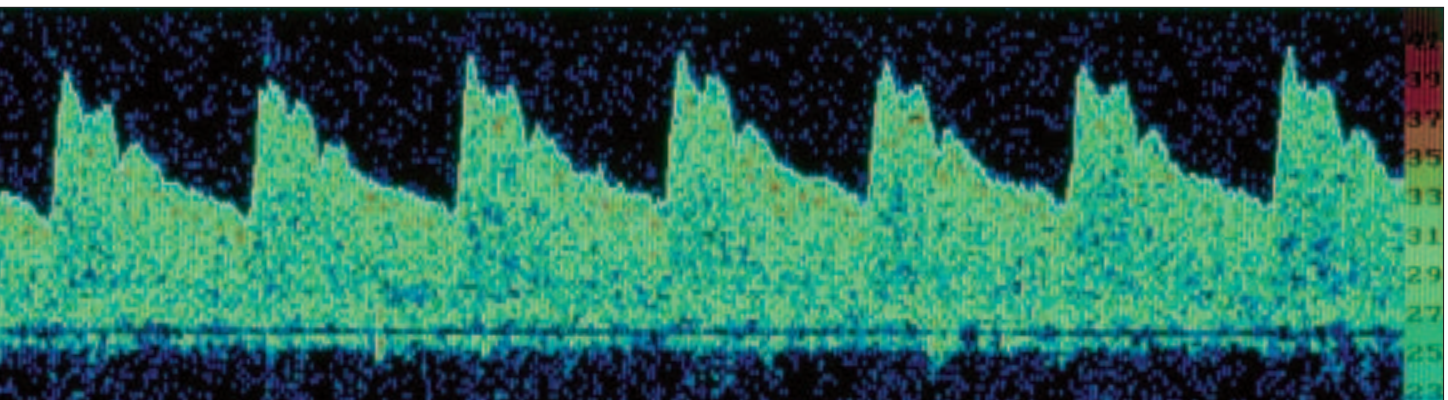
In einem zweiten Schritt wurde untersucht, ob im Falle der Hypotonie eine verminderte Gehirndurchblutung vorliegt, die ihrerseits die Ursache für die genannten Leistungsminderungen sein könnte. Der Stoffwechsel der Nervenzellen



des Gehirns verlangt eine konstante Zufuhr von Sauerstoff und Glukose. Ist die Blutversorgung des Gehirns nicht ausreichend, wird der verfügbare Sauerstoff sehr schnell aufgebraucht, und es folgen mehr oder weniger schwerwiegende Funktionsausfälle. Aus diesem Grund ist das Gehirn besser als jedes andere menschliche Organ gegen eine mögliche Mangel durchblutung abgesichert. Ein als „zerebrale Autoregulation“ bezeichneter Mechanismus sorgt dafür, dass sich bei einer Abnahme des Blutdrucks die Gehirnarterien sofort erweitern, so dass mehr Blut hindurchströmen

kann. Nach der vorherrschenden medizinischen Lehrmeinung sollte dieser Mechanismus auch bei chronisch niedrigem Blutdruck eine Minderdurchblutung des Gehirns verhindern. Dies wiederum führt zur Frage, warum es dann bei Hy-

Oben: Eine Ultraschalluntersuchung hilft, die Geschwindigkeit des Blutflusses zu messen. Dabei werden zunächst mit einer Sonde die Arterien im Gehirn lokalisiert. Am Bildschirm (unten) können dann die Signale grafisch dargestellt werden. Der Blutstrom verändert sich mit dem Rhythmus des Herzschlags.



potonie überhaupt zu Einbußen bei mentalen Vorgängen kommen kann.

Um zu überprüfen, ob die Gehirndurchblutung bei niedrigem Blutdruck tatsächlich vermindert ist, kam die Technik der „transkraniellen Doppler-Sonographie“ zum Einsatz. Dieses Ultraschallverfahren gestattet es, die Geschwindigkeit des Blutstroms in den Gehirnarterien zu messen. In unserem Fall wurde der Blutfluss in den „Arteria cerebri mediae“ beider Hirnhälften erfasst. Diese Arterien sind für die Blutversorgung großer Gehirngewebe verantwortlich, in denen sich auch einige für Konzentrations- und Gedächtnisleistungen bedeutsame Zentren befinden. Tatsächlich wurde bei Menschen mit Hypotonie, verglichen mit Kontrollprobanden mit normalem Blutdruck, ein erheblich langsamerer Blutstrom in diesen Arterien festgestellt. Die Autoregulation im Gehirn reicht offenbar nicht aus, um den niedrigen Blutdruck zu kompensieren. So gelangt zu den Nervenzellen weniger Blut, was die Bedingungen für ihre Arbeit verschlechtert.

Angesichts der kognitiven Leistungsschwächen bei Hypotonie schien es wichtig, die Gehirndurchblutung nicht nur in Ruhe, sondern auch unter mentalen Anforderungsbedingungen zu testen. Dabei zeigte sich in den Experimenten eine erstaunliche Flexibilität der Durchblutungsregulation. So waren Aufmerksamkeits-, Denk- und Gedächtnisprozesse von einer sofortigen Zunahme der Hirndurchblutung begleitet. Auf diese Weise kann der erhöhte Sauerstoff- und Nährstoffbedarf in den jeweils aktiven Gehirnregionen abgedeckt werden. Mit dieser kontinuierlichen Anpassung der Durchblutung an die Hirnaktivität schafft das Kreislaufsystem ideale „Arbeitsbedingungen“ für die Nervenzellen.

Um zu klären, ob diese Anpassungsleistung möglicherweise bei der Hypotonie eingeschränkt ist, wurden wiederum die Strömungsgeschwindigkeiten in beiden Arterien gemessen, diesmal allerdings während sich die Probanden am



Gehirnströme können mithilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) aufgezeichnet werden. Die Elektroden werden an die Kopfhaut angebracht und messen so die elektrische Aktivität des menschlichen Gehirns.

gaben beschäftigten. Erwartungsgemäß nahm die Durchblutung zu, als die Konzentration der Versuchspersonen gefordert war. Bei Personen mit Hypotonie war die Zunahme allerdings vergleichsweise schwach. Ihr Wert lag durchschnittlich 40 Prozent unter dem der Kontrollgruppe.

Ein weiteres, erstmals beobachtetes Ergebnis war, dass in den Konzentrationstests gerade diejenigen Testpersonen am besten abschnitten, bei denen der Blutstrom besonders stark zunahm. Das unterstreicht, dass eine optimale mentale Leistung tatsächlich von der kontinuierlichen Anpassung der Durchblutung an die Hirnaktivität abhängig ist, was bei Hypotonie nur eingeschränkt gegeben ist.

Dass das Gehirn bei Hypotonie hinter seiner maximalen Leistungsfähigkeit zurückbleibt, zeigten auch Studien, die mithilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) durchgeführt wurden. Diese Technik ermöglicht die Messung elektrischer Spannungen (Potenziale), die bei der Arbeit der Nervenzellen entstehen. Bei einfachen Konzentrations- und Reaktionsaufgaben zeigt sich im EEG eine typische kurzfristige Potenzialverschiebung in den Negativbereich. Diese ist bei Menschen mit niedrigem Blutdruck nur relativ schwach ausgeprägt. Das lässt auf eine – vermutlich aufgrund der ungünstigen Durchblutungssituation – niedrige elektrische Aktivität von Nervenzellgruppen schließen, die bei Konzentrationsleistungen gefordert sind. Im Ruhezustand fand sich im EEG zudem ein vergleichsweise hoher Anteil so genannter Alpha-Wellen. Diese treten vor allem dann auf, wenn eine Person sehr entspannt oder schläfrig ist, was mit der häufig subjektiv berichteten Müdigkeit im Alltag von Menschen mit Hypotonie im Einklang steht.

Diese Forschungsergebnisse zeigen, dass das Gehirn bei Menschen mit niedrigem Blutdruck seine Arbeit unter erschwerten Bedingungen verrichten muss und damit seine volle Leistungsfähigkeit nicht ausschöpfen kann. Eine noch offene Frage betrifft allerdings die Rolle, die das Gehirn selbst bei der Entstehung der Hypotonie spielt. Über Nervenbahnen zum Herz und den Blutgefäßen sowie auf hormonellem Wege sind die Kreislaufzentren des Gehirns wesentlich an der Blutdruckregulation beteiligt. Liegt eine Fehlfunktion im Bereich dieser Regulationszentren vor, ist es möglich, dass das Gehirn nicht nur Opfer einer ungünstigen physiologischen Situation ist, sondern zu seinen erschwerten Arbeitsbedingungen selbst beiträgt.

*Dr. Stefan Duschek, Dipl.-Psych.
Prof. Dr. Rainer Schandry
Ludwig-Maximilians-Universität
München*

Das Projekt wird von der DFG im Normalverfahren unterstützt.



Von den Geschäften der Fürstin

Anna von Sachsen war eine ungewöhnlich geschäftstüchtige Renaissancefürstin. Sie verfügte über herausragende landwirtschaftliche Erfahrungen und Kenntnisse und trug damit am kursächsischen Hof zu Dresden zu einer Blüte der Agrarwirtschaft bei

Im Lesesaal ist das Klappern von Tastaturen zu hören, gelegentlich ein Flüstern. Das Sächsische Hauptstaatsarchiv in Dresden ist, wie alle Archive, ein Ort der stillen Leidenschaften. Die Frauengeschichtsforscherin sucht in alten handschriftlichen Dokumenten Zeugnisse weiblicher Autorschaft. Eine Fülle davon hat die Dresdner Herzogin und Kurfürstin Anna von Sachsen (1532 bis 1585) hinterlassen. Ihre gesamte Korrespondenz mit Fürstinnen und Fürsten, mit Verwaltern und Hofleuten, lässt sich auf etwa 16 000 deutschsprachige Briefe und Briefkopien beziffern. Es sind lebenspraktische Mitteilungen, Anfragen, Nachrichten, Ratschläge, Anweisungen und Bescheide. Sie zeugen von den energischen Aktivitäten einer Renaissancefürstin, ihrer Betriebsamkeit und Kompetenz in Politik, Theologie, Botanik und, was mit der Lebenswelt einer Fürstin kaum vereinbar scheint, auch in landwirtschaftlichen Fragen. Das Agrarwissen von Frauen, ihre Kennt-

45

nisse und Leistungen in Gartenbau, Landwirtschaft und wirtschaftlicher Betriebsführung, war für die Geschichte der Agrarwissenschaft bisher kein Thema.

Anna von Sachsen lebte von 1532 bis 1585 während der geistig bewegten Zeit der Reformation und Renaissance, die nördlich der Alpen später einsetzte. Alte Schriften, auch über die Landwirtschaft, kamen in dieser Epoche ans Licht und regten zur Nachahmung an. Mit dem Buchdruck fanden die Werke der Antike populäre Verbreitung. Fachwissen und Expertentum wurden nicht nur an Universitäten gepflegt, sondern auch am Fürstenhof, im Handwerks- und Künstlerbetrieb, im Kloster und auf dem Gutshof. Anna von Sachsen, geborene Prinzessin von Dänemark (aus dem Hause Oldenburg), hat in ihrer Jugend am dänischen Königshof Pflanzenheilkunde und Botanik studiert und wahrscheinlich auch Grundlagen des Gartenbaus und der fortschrittlichen dänischen Landwirtschaft erlernt. Ihre kompetente Leitung von etwa 70 Gutsbetrieben am kurfürstlichen Hof in Dresden spricht dafür. Ranghohe Frauen wie Prinzessin Anna wurden auf spätere „Führungspositionen“ vorbereitet. Als Gemahlin des Herzogs und Kurfürsten August von Sachsen (1526 bis 1586) war sie Mitglied einer politisch mächtigen Fürstenfamilie, die das Oberhaupt des Heiligen Römischen Reichs deutscher Nation „küren“, das heißt wählen, durfte.

Anna war Protestantin in zweiter Generation. In ihren Briefen ist die Verantwortung zu spüren, die sie als mitregierende Fürstin für den guten Ausgang der religiösen Umwälzung übernimmt. Auch Annas wirtschaftliche Interessen und Überlegungen hängen mit der neuen Glaubensdoktrin zusammen. In den protestantischen Fürstentümern war die wirtschaftliche Konkurrenz der Kirche weitgehend ausgeschaltet. Durch Martin Luther erfuhr die Ehe eine Aufwertung als Institution, als Kernzelle für Herrschaftsausübung und ökonomisches Engagement. Fürst und Fürstin sollten als pflichtbewusstes eheliches Arbeitsteam begriffen werden. Den christ-

lichen Frauentugenden Demut und Gehorsam fügte die protestantische Ideologie lebenspraktische Tugenden hinzu: Fleiß und so genannte Rechenhaftigkeit. In diesem Sinn hat die protestantische „Landesmutter“ Anna zur Wirtschaftspolitik ihres Gemahls viel beigetragen. Annas Initiative ist es zuzuschreiben, dass die kursächsischen Gutsbetriebe oder „Vorwerke“, wie man damals sagte, ab 1568 wieder verstärkt selbst bewirtschaftet wurden. Anna bestellte neue Regionalverwalter ins Amt und einen fachkundigen Berater, den sächsischen Adligen Abraham von Thumbshirn, mit dem sie ihre Ideen und Ziele besprach.

Ein regierendes Ehepaar wie Anna und August von Sachsen betätigte sich in hohem Ausmaß wirtschaftlich, sie bildeten ein gemeinsames Unternehmen. Ein großer Teil ihrer Einkünfte wurde auf den eigenen Gutsbetrieben mit den Arbeitsleistungen der bäuerlichen Erbuuntertanen erwirtschaftet. Das Steueraufkommen war gering. Wollte man diese Situation mit einer in die heutige Zeit passenden Analogie veranschaulichen, wäre es in etwa so, als würden die Bundeskanzlerin und ihr Gatte ein Wirtschaftsunternehmen leiten und den gesamten Hofstaat, sprich die Administration des Bundeskanzleramts wie aller anderen Regierungsinstitutionen, aus eigenen Mitteln unterhalten. Die Dokumente des 16. Jahrhunderts zeigen verblüffende Details des landwirtschaftlichen Alltags am kursächsi-

schen Hof in Dresden. Wenn Anna die Umsetzung von 200 Schafen für die Hofküche nach Dresden anordnet, wenn umständlich erlaubt wird, dass ein Vorwerksverwalter im kursächsischen Wald Holz zur Reparatur eines Stalldaches schlagen darf, mag man kaum glauben, dass Personen mit herzoglichem Titel sich mit solchen Einzelheiten befassten. Es zeigt uns aber, mit welcher peinlicher Sorgfalt im 16. Jahrhundert die natürlichen Ressourcen eines Waldes, einer Schäferei oder eines Ackers kontrolliert wurden. Nahezu alles, was man am Hof in Dresden verspeiste, kam aus eigener Wirtschaft. Anna sorgte persönlich dafür, dass die produzierten Überschüsse an Butter und Käse zu guten Preisen auf den Markt gelangten. Wenn Anna und August, wie etwa im Frühjahr 1570, von Dresden aus zur Kur ins böhmische Karlsbad fuhren, orderten sie beachtliche Mengen an Fisch, die in den Gewässern des Erzgebirges gefangen und in Fässern nachgeschickt wurden. Auch für andere Aufenthalte, wie etwa zu den Reichstagen, kam der Proviant aus Dresden. Sogar das Kochgeschirr

Linke Seite: Kurfürstin Anna von Sachsen. Ihr Porträt stammt aus dem von Lucas Cranach dem Jüngeren geschaffenen Altarbild der kurfürstlichen Familie. Sie wirkte als Agrarpionierin am kursächsischen Hof in Dresden, wo auch um 1570 die erste Handschrift zur Agrarlehre in deutscher Sprache entstand. Auf deren Titelblatt (unten) wird der Gartenbau der Zeit illustriert.



und ein Reiseherd wurden mitgenommen. In der damaligen Zeit war das modernste Logistik.

Die kursächsische Landwirtschaft funktionierte als Befehlswirtschaft. Darüber kann auch der respektvolle Ton in Annas Briefen an ihre adligen Verwalter nicht hinwegtäuschen. Der „e(h)rbar liebe besondere“ Untergebene hatte sich an die Entscheidungen von oben zu halten, zum Beispiel daran, dass die Erträge aus den Vorwerken grundsätzlich in Geldwert verrechnet werden sollten, auch wenn sie intern am kurfürstlichen Hof konsumiert wurden. Wirtschaftswissen, damals nannte man es „Haushaltung“ oder „Oeconomia“, war zu Annas Zeit vor allem land- und hauswirtschaftliches Wissen. Es wurde, wie viele andere Wissensbestände, die heute an Universitäten gelehrt werden, noch weitgehend mündlich übermittelt. Erst im ausgehenden 16. Jahrhundert entstanden in Mitteleuropa die ersten schriftlichen Werke der Agrarlehre, die sich von antiken Vorbildern abhoben und eigene Erfahrungen festhielten. Das früheste dieser Art stammt aus dem Umfeld des kursächsischen Hofes in Dresden. Die anonyme Handschrift „Haushaltung in Vorwerken“ (um 1570), ein Folioband von 366 Seiten, ist das erste volkssprachliche Werk, das sich auf die Agrarpraxis einer deutschen Region bezieht. Spätere gedruckte Landwirtschaftsbücher haben sich dieser Schrift bedient. Um herauszufinden, wie Kurfürstin Anna zur Entwicklung der sächsischen Landwirtschaft und zur Dresdner Agrarschrift beigetragen hat, sind subtile Textvergleiche notwendig. Ein wichtiges Kriterium



Sein Kräuterbuch von 1563 widmete der Torgauer Arzt Johann Kentmann dem sächsischen Kurfürsten. Wahrscheinlich hat Kurfürstin Anna es angeregt.

dabei ist die „Rechenhaftigkeit“, charakteristisch für das kurfürstliche Ehepaar wie auch für die „Haushaltung in Vorwerken“. So wird dort etwa im Kapitel über die Schäferei der jährliche Nutzen eines Schafes buchstäblich bis auf den letzten Heller ausgerechnet.

Ein für die Agrargeschichte des 16. Jahrhunderts erstaunliches Dokument findet sich in der Korrespondenz Annas mit ihren Verwaltern. In einem Verzeichnis, datiert auf den 9. Oktober 1570, werden die Mengen an Saatgut aufgelistet,

wie sie auf unterschiedlich gedüngten Ackerflächen ausgebracht wurden. Möglicherweise dokumentiert es den Beginn eines Feldversuchs. Die Variablen des mutmaßlichen Düngungsexperiments waren Kuhmist, Schafmist sowie die direkte Beweidung mit Schafen, das so genannte „pferchen“.

Anna lernte aus eigener Erfahrung und im Austausch mit befreundeten Fürstenhäusern, sächsischen Adligen und bäuerlichen Untertanen. Ihre Erkenntnisse hütete sie zuweilen wie ein Betriebsgeheimnis, auch wegen der wirtschaftlichen Vorteile, die daraus resultieren konnten. Das kurfürstlich-sächsische Arbeitsteam Anna und August war auch magischen Praktiken nicht abgeneigt, in Fragen der Politik ebenso wie in der Landwirtschaft. Ein damals verbreitetes Wahrsageverfahren war die so genannte

Geomantik. Über allem weltlichen und magischen Wissen aber respektierte die gleichermaßen fromme wie geschäftstüchtige Fürstin die Wissenschaft des Himmels, die göttliche Vorsehung. Den Bericht des Verwalters über das schlechte Wetter und die verdorbene Heuernete im Sommer 1569 kommentierte Anna zuversichtlich: „Der allmechtige Gott werde desto reichlich und besser groß gnediglich wachsen lassen.“

*Ursula Schlude M.A.
Prof. Dr. Heide Inhetveen
Albrecht Hoch M.A.
Universität Göttingen*

Das Projekt wird von der DFG im Normalverfahren gefördert.
► www.user.gwdg.de/~uare

Die

Labor in luftiger Höhe: Vier Gerüsttürme, die durch Plattformen miteinander verbunden sind, und ein Kran sollen den Forschern Einblicke in die Kronen der bis zu 30 Meter hohen Buchen- und Fichtenbäume ermöglichen.

Konkurrenz der Bäume

Das Überleben von Waldbäumen hängt auch davon ab, ob sie sich gegen ihre Nachbarpflanzen durchsetzen können



Wirtschaftsunternehmen behaupten sich gegenüber Konkurrenten durch effiziente Nutzung von Ressourcen. Solche Prinzipien sind auch in der Konkurrenz zwischen Waldbäumen fassbar. Ob eine Pflanze überleben kann, entscheidet sich in ihrer Fähigkeit, der Umwelt Wasser, Nährstoffe oder – mit Hilfe der Sonnenenergie – Kohlenstoff abzurufen und diese anschließend nutzen zu können. In welchem Umfang die Pflanze Ressourcen aufnehmen kann, liegt entscheidend an der Konkurrenz gegenüber Nachbarpflanzen sowie an der Fähigkeit, Schädlinge abzuwehren. Die Abstimmung zwischen der Aufnahme von Ressourcen und ihrer Verteidigung gegenüber pflanzenfressenden Tieren und krankmachenden Organismen ist Ausdruck der „Fitness“ der Pflanze. Diese „Fitness“ bildet auch die Voraussetzungen für die Fortpflanzung.

Die Offenlegung dieser Abstimmung und deren stofflichen Kosten-Nutzen-Bilanzen ist Ziel des Sonderforschungsbereichs „Wachstum und Parasitenabwehr – Wettbewerb um Ressourcen zwischen Nutzpflanzen aus Land- und Forstwirtschaft“. Wachstum ist hier weniger mit Blick auf die Gewichts- und Volumenveränderung von Interesse als hinsichtlich der Voraussetzung, gegenüber Nachbarpflanzen Konkurrenz ausüben zu können.

Pflanzliche Konkurrenz wird dadurch bestimmt, wie stark Bäume sowohl im Kronen- als auch im Wurzelbereich wachsen und damit Raum besetzen können.

Wer viel Raum besetzt, verdrängt die Konkurrenz und kann den Raum ausbeuten. Hieraus resultiert die Frage, ob die Fähigkeit der Pflanze, Konkurrenz auszuüben, durch eine Kosten-Nutzen-Betrachtung quantifizierbar ist: als Vergleich zwischen Ressourceninvestition, um Raum besetzen zu können, und Gewinn an Ressourcen, welche dem besetzten Raum entzogen werden. Das Augenmerk soll



auf Buche und Fichte liegen, die aufgrund ihrer räumlichen Dimension und ihrer Langlebigkeit eine besondere Herausforderung darstellen.

Während sich bei krautartigen Pflanzen Veränderungen bereits im Jahresverlauf zeigen, wirken Waldbestände bei kurzfristiger Beobachtung eher „statisch“. Als Ausweg erscheint, die Nutzung von Ressourcen in Ästen und Wurzeln zu erfassen und im Vergleich mit Konkurrenten zu beurteilen. Damit wird das „Konkurrenzverhalten“ der Bäume bestimmbar. Ein solcher Ansatz wird derzeit im „Kranzberger

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich der Kampf um Ressourcen zwischen Buchen und Fichten gestaltet

Forst“ bei Freising, einem etwa 60 Jahre alten Buchen/Fichten-Mischbestand mit etwa 30 Meter hohen Bäumen erprobt. Für die Untersuchungen ist eine aufwändige Infrastruktur mit Feldlaboren und speziellen Mess- und Analyseverfahren erforderlich. Gerüsttürme, die über Plattformen zwischen 17 und 27 Metern Höhe verbunden sind, und ein 45 Meter hoher Forschungskran mit 50 Metern Ak-





Links oben: Junge Versuchsbäume in der Klimakammer. Darunter: Im Freien wird den Baumwipfeln auch mit einer Gondel zu Leibe gerückt, während am Waldboden (oben) das Wachstum der Baumwurzeln durch digitale Bildprogramme analysiert wird. Darunter: ein von Ozon bereits sichtbar geschädigtes Buchenblatt.

tionsradius eröffnen Zugang in die Sonnen- und Schattenbereiche der Baumkronen.

Es zeigt sich, dass in Buche und Fichte die Raumausbeutung, das heißt der Kohlenstoffgewinn entlang der Astachsen, sehr ähnlich ist. Dies gilt bei beiden Arten sowohl für Sonnen- als auch Schattenäste. Auch die „laufenden Kosten“ an Kohlenstoffabgabe durch Atmung und transpiriertem Wasser sind nicht verschieden. Dies mag erstaunen, bedenkt man, dass die photosynthetische Leistungsfähigkeit, Atmung und Transpiration der Blattoorgane (jeweils niedrig in

Fichte und hoch in Buche) zwischen zwei mitteleuropäischen Baumarten nicht unterschiedlicher sein könnten. Jedoch wird offensichtlich, dass die verfügbare Sonneneinstrahlung durch beide Arten gleichermaßen wirkungsvoll für den Kohlenstoffgewinn genutzt wird. Signifikant unterscheiden sich die beiden Arten bei der Effizienz der Raumbesetzung. Der an vielen Standorten in Mitteleuropa beob-

achtete Konkurrenzvorteil der Buche scheint aus günstigen Investitionskosten für die räumliche Bedrängung der Fichte zu resultieren.

Im Bodenraum ist die Analyse des Konkurrenzverhaltens schwieriger, da aufgrund der intensiven, gegenseitigen Durchdringung benachbarter Wurzelsysteme die Zuordnung besetzten und ausgebeuteten Raumes weniger offensichtlich ist. Zudem erhöhen die Mykorrhizapilze, welche die Wurzeln besiedeln, den „Einzugsbereich“ der Feinwurzeln für die Aufnahme von Nährstoffen und Wasser erheblich. Mit einer Kombination verschiedener Methoden werden im Versuchsbestand der Auf- und Abbau der Feinwurzeln, ihre „laufenden Kosten“ (Atmung) zusammen mit jenen der Mykorrhiza-Pilze sowie die Ressourcenaufnahme erfasst. Die beobachtbare Wurzellänge könnte für die unterirdische Konkurrenz bedeutsam sein. Derzeit wird noch geklärt, welche Bedeutung der unterirdische Wettbewerb um Ressourcen gegenüber dem oberirdischen besitzt.

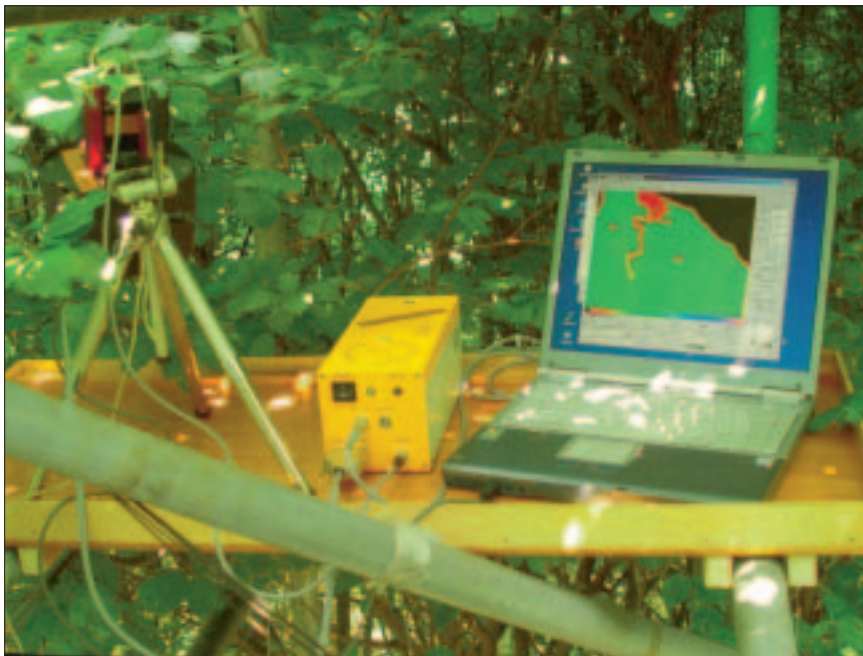
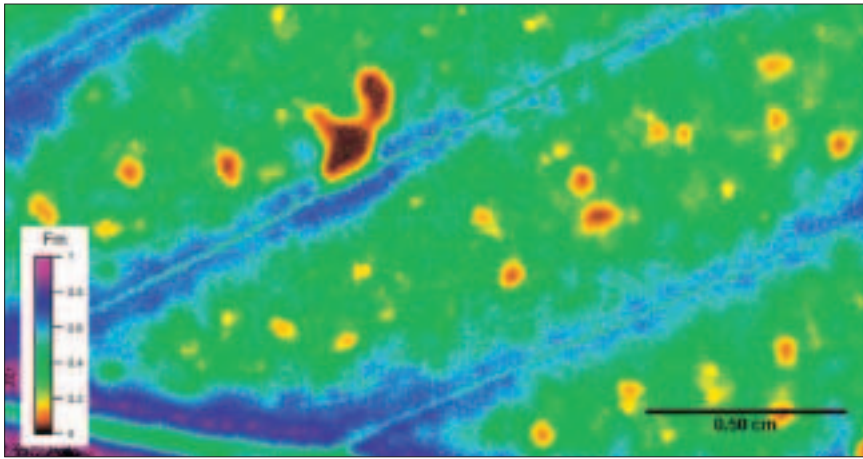
Die Effizienz der Raumbesetzung hängt von der Regulation der Ressourcenverteilung in der Pflanze ab. Die Reaktion auf eine Störung gibt Auskunft über die Empfindlichkeit der Regulation und deren Mechanismen. Ein Beispiel für eine Störsubstanz ist Ozon, welches nach

Aufnahme über die Spaltöffnungen im Blattinnengewebe angreift und die Ressourcenverteilung beeinflusst. Innerhalb eines 2000 Kubikmeter großen Bereichs im Kro-

Nur mit Hilfe von Feldlaboren sowie mit aufwändigen Mess- und Analyseverfahren können die Studien erfolgen

nendach des Kranzberger Forstes wird mit einer weltweit einzigartigen Begasungsvorrichtung Ozon freigesetzt. Dabei werden die im Bestand auftretenden Ozonkonzentrationen unter Vermeidung von Spitzenbelastungen verdoppelt. Bäume in unveränderter Luft dienen als Kontrolle.

Dieser Versuchsansatz verfolgt nicht den Schadstoffcharakter des Ozons, sondern soll die Empfind-



Moderne Analysemethoden veranschaulichen, wie sich das künstlich zugeführte Ozon auf das Blattwerk der Bäume auswirkt: Bei dem untersuchten Buchenblatt weisen die gelbroten Flecken in der Computerabbildung auf fehlendes Chlorophyll hin. Unten: Die aufgezeichneten Daten werden direkt erfasst und durch ein spezielles Computerprogramm ausgewertet.

neut war das Maß der oberirdischen Raumbesetzung zwischen beiden Arten sehr verschieden, wobei aber die Buche nun als schwächerer Konkurrent auch entsprechend weniger effizient war. Die sich im Jugendstadium zu Ungunsten der Buche verschiebende Konkurrenz ähnelt Erfahrungen bei forstlichen Mischbeständen mit gleichzeitig gepflanzten, gleich großen Buchen und Fichten. Für die Empfindlichkeit der Versuchsbäume in der Klimakammer war das jeweils verabreichte Gemisch aus Ozon und Kohlendioxid von eher nachrangiger Bedeutung. Unter den Bedingungen der Konkurrenz gewichten die Bäume die Reaktion auf Nachbarpflanzen offenbar höher als auf Störungen durch Ozon und Kohlendioxid.

Insgesamt zeigt sich, dass aus dem Ressourcenumsatz auf Kosten und Nutzen der pflanzlichen Konkurrenz geschlossen werden kann. Hierin spiegelt sich das Konkurrenzverhalten der Pflanze wider. Das Ergebnis solcher Kosten-Nutzen-Analysen ist jedoch nicht für eine Art verallgemeinerbar, sondern gilt zunächst für das Entwicklungsstadium der Pflanze und deren Wuchsbedingungen, wie der Vergleich zwischen Jung- und Altbäumen in Klimakammer und im Feld unterstreicht.

*Prof. Dr. Rainer Matyssek
Dr. Karl Heinz Häberle
Dr. Thorsten E. E. Grams
Technische Universität München*

Die Studien werden von der DFG gefördert im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 607 „Wachstum und Parasitenabwehr – Wettbewerb um Ressourcen zwischen Nutzpflanzen aus Land- und Forstwirtschaft.“
► www.sfb607.de

lichkeit der Raumbesetzung unter Störung durch Ozoneinfluss klären. Allerdings ist bislang keine strukturelle, ozonbedingte Veränderung in Baumkronen und Feinwurzeln in großen Bäumen feststellbar. Wohl aber ist die Störung durch Ozon bei der Buche auf der molekularen und biochemischen Ebene anhand verkürzter Blattlebensdauer, früherer Stadien der Blattschädigung und beginnender Einschränkung der Photosyntheseleistung nachweisbar.

Sollte das Phänomen der Raumbesetzung ein wesentliches Prinzip der pflanzlichen Konkurrenz sein, dann sollte sich dieses nicht nur in Altbäumen im Feld, sondern auch an Jungbäumen unter kontrollierten, experimentellen Bedingungen

darstellen lassen. Ein solches, drei Jahre dauerndes Experiment wurde in Klimakammern mit anfänglich gleich großen Buchen und Fichten in Rein- und Mischpflanzung durchgeführt, die bei Versuchsende vier Jahre alt waren. Als Störfaktoren wurden Ozon und Kohlendioxid verabreicht. Unter diesen Testbedingungen war die Buche im Gegensatz zum Altbestand in Mischpflanzung der unterlegene Konkurrent. Wiederum konnte dieses Ergebnis nicht anhand der oberirdischen Raumausbeutung und „laufenden Kosten“ hinsichtlich Atmungs- und Wasserbedarfs erklärt werden. Unterirdisch erschien die Buche in der erzielten Wurzellänge sogar effizienter als die Fichte. Er-

Leben aus der Tiefe des Raumes

Meteoriten und Kometen haben wichtige Bausteine des Lebens auf die Erde gebracht. Darauf weisen Studien eines deutsch-französischen Chemiker-Teams hin. Die Forscher machen sich ein neuartiges Analyseverfahren zu Nutze

Die etwa hundert Kilogramm schweren Reste des Murchison-Meteoriten könnten unser Weltbild verändern. Dass das Leben nämlich keineswegs auf der Erde entstand, sondern dass wichtige Bausteine aus dem Weltraum stammen und durch Meteoritenaufschläge auf die Erde gelangten, zeigen die neuen Untersuchungen eines Chemiker-Teams der Universität Bremen und der Université de Nice-Sophia Antipolis in Frankreich. Diesen Forschern gelang es zu zeigen, dass der Meteorit so genannte Diaminosäuren mit sich brachte, denen eine zentrale Funktion bei der Entstehung des Lebens zugeschrieben wird. Diese Ergebnisse wollen die Wissenschaftler auch bei der Rosetta-Kometenmission der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA überprüfen.

Seit Watson und Crick 1953 die Desoxyribonukleinsäure oder kurz DNA als das genetische Material identifizierten und ihre einzigartige, Informationen speichernde Doppelhelix entdeckten, gibt es Spekulationen über den Ursprung der DNA und damit des Lebens. Derzeit herrscht die Lehrmeinung, dass DNA und Eiweiße (Proteine) aus molekularen Bausteinen zusammengebaut sind. Verschiedene Amino-

Um ausreichend Schwung zu gewinnen, muss die Kometensonde Rosetta bei ihrer Mission dreimal die Erde umkreisen.

Nur so kann sie ihre volle Geschwindigkeit entwickeln. Der 450 Millionen Kilometer entfernte Zielkomet Churyumov-Gerasimenko soll im Jahr 2014 erreicht werden.



Nach der Landung: Harpunen müssen das Landegerät befestigen, da der Komet kaum eigene Anziehungskräfte besitzt. Ein Bohrer soll Gesteins- und Bodenproben entnehmen und eine Antenne die Daten an das ESA-Satellitenkontrollzentrum in Darmstadt übertragen.

säuren gelten beispielsweise als molekulare Bausteine der Proteine. Dass diese auch in Meteoriten vorkommen, ist bekannt. Um den Bausteinen für Leben auf Meteoriten weiter auf den Grund zu gehen, wandte sich die Arbeitsgruppe mit ihren internationalen Partnern erneut dem Meteoriten Murchison zu.

Der Meteorit Murchison war 1969 über Australien niedergegangen. Sein Material gilt als „rein“, also nicht durch irdische Einflüsse verändert. Das Forscherteam setzte bei den Experimenten ein neues, von ihnen entwickeltes Analyseverfahren ein. Dafür zerkleinerten sie ein Gramm des Meteoriten, pulverisierten und extrahierten die Probe mit hochreinem Wasser. Diese Probe unterzogen sie einer neuartigen Analyse.

Überraschenderweise konnte mit Hilfe dieser Experimente eine zweite „neue“ Klasse von Aminosäuren nachgewiesen werden. Dabei handelt es sich um Aminosäuren mit einer zusätzlichen Aminofunktion, so genannte Diaminosäuren. Diesen Stoffen wird eine zentrale Rolle für die Entstehung des Lebens bei der chemischen Evolution des genetischen Materials zugesprochen: Molekularbiologische Untersuchungen legen nahe, dass sich in der chemischen Evolution vor der DNA eine andere Nukleinsäure, die so genannte RNA, ausbildete, und diese wiederum aus der PNA, einer peptidischen Nukleinsäure hervorging. Das Rückgrat der PNA ist aus Diaminosäuren aufgebaut. So lassen die Forschungsergebnisse vermuten, dass im Murchison-Meteoriten die molekularen Bausteine des

Über Australien ist der Meteorit Murchison 1969 niedergegangen – sein Material wird als „rein“ eingestuft

mutmaßlich ersten genetischen Materials, der PNA, vorkommen. Dass diese „neue“ Klasse von Aminosäuren nicht in Meteoritenproben nachgewiesen werden konnte, liegt an der bislang angewandten Analytik. Denn es wurden zur Analyse von Meteoritenproben in der Regel Kapillartrennsäulen von 30 bis 50

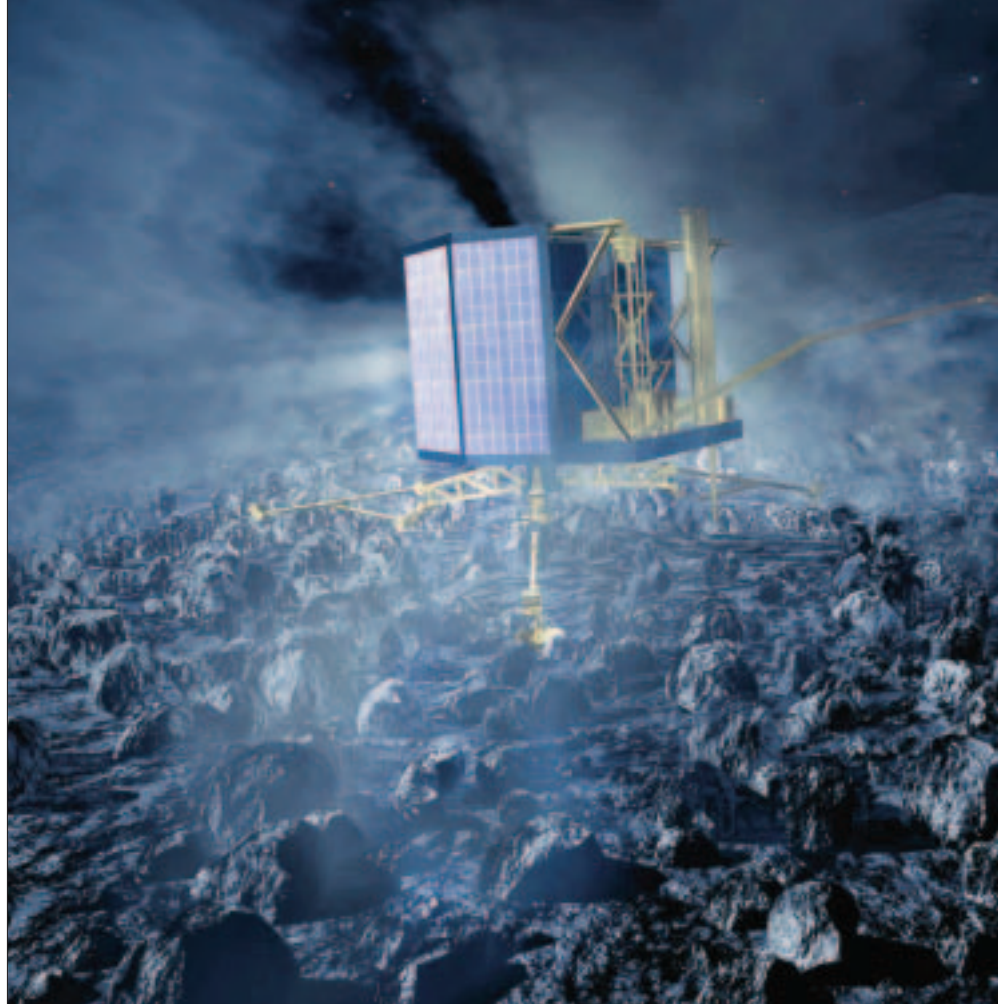
Meter Länge eingesetzt. Diese Säulen sind in der Regel zu lang, um schwerflüchtige Derivate von Diaminosäuren aus der stationären Phase spülen zu können. Bei den

neuen Studien wurde eine kurze, zwölf Meter lange Säule genutzt.

Diese Erkenntnisse stellen das bisherige Modell für die Aminosäure-Synthese in der chemischen Evolution in Frage, wonach Aminosäuren in der Atmosphäre der frühen Erde gebildet worden sind. In Kooperation mit Partnern im europäischen Ausland gelang an der Uni-

versität Bremen in Vorbereitung auf die Rosetta-Kometenmission der ESA vor zwei Jahren der Nachweis, dass Strukturen von Aminosäuren als Bausteine von Eiweißmolekülen bereits im interstellaren Raum, also in genau definierten Bereichen des Weltraums, durch photochemische Reaktionen spontan und fortwährend synthetisiert werden. Derartige interstellare Eispartikel lagern sich im Laufe der Zeit aneinander und bilden zunächst so genannte Kometissimale und später Kometen. Es wird heute vermutet, dass organisches Material aus Bereichen des Interstellaren Mediums über (Mikro-) Meteoriten oder Kometen auf die frühe Erde transportiert worden sein könnte. Diese Moleküle beteiligten sich wahrscheinlich an ersten biochemischen Reaktionen, die für die chemische Evolution von wesentlicher Bedeutung waren.

Das wissenschaftliche Interesse richtet sich nach den Experimenten zur Simulation eines Kometen auf die direkte Analyse des Kometenmaterials mit Hilfe der Kometen-





umov-Gerasimenko nach aktuellen Planungen im Jahre 2014 erreichen, sechs Monate lang umkreisen und vermessen, um anschließend das Landegerät Philae erstmals auf der Oberfläche eines Kometenkerns abzusetzen. Nach der Landung eines neuartigen Messgerätes auf der Oberfläche von Churyumov-Gerasimenko soll das Kometenmaterial analysiert werden. Von Interesse ist auch hier die Identifizierung organischer Moleküle wie Aminosäuren und Diaminosäuren, also den molekularen Bausteinen biologischer Strukturen.

Neben der reinen Identifizierung organischer Moleküle könnte die Untersuchung von Meteoriten und Kometen ein weiterführendes Phä-

Unten: Ein Labor auf der Oberfläche des Kometen: Für Experimente wird Kometenmaterie aus Bohrproben verdampft und in Analysegeräten des Landegeräts untersucht. Auf diesem Wege sollen organische Moleküle aufgespürt und identifiziert werden.



mission Rosetta. Die Sonde soll nun die erhaltenen Ergebnisse durch Messungen von Kometen-Eis bestätigen. Nach dem geglückten Start in einer Ariane-5+-Rakete aus dem südamerikanischen Kourou in Französisch-Guayana begibt sie sich auf die Suche nach den molekularen Bausteinen des Lebens. Sie wird den Zielkometen 67P/Chury-

nomen, die so genannte Chiralität, klären. Die Chiralität oder auch Händigkeit beschreibt, dass es bei Biomolekülen zwei Formen von Bausteinen gibt, die ungleich, aber symmetrisch sind. Biomoleküle setzen sich aus Bausteinen zusammen, die einheitlich entweder ausschließlich rechts- oder ausschließlich linkshändig sind, also genau

eine der beiden geometrischen Formen aufweisen. Beispielsweise sind Eiweiße (Proteine) ausschließlich aus L-Aminosäuren aufgebaut, wohingegen deren Spiegelbilder, die D-Aminosäuren, in Eiweißen keine Verwendung finden. Auf ähnliche Weise nutzen sowohl die Kohlenhydrate als auch die DNA ausschließlich D-Zucker und haben keine Verwendung für etwaig vorkommende L-Zucker-Einheiten. Eine zentrale wissenschaftliche Frage ist nun, wann sich zu Beginn der biologischen Evolution entschied, dass der geometrische Unterschied über den biologischen Prozess entscheidet und dass er überhaupt eine Rolle spielt. Heute sprechen viele Gründe dafür, dass dieser Symmetriebruch nicht erst auf der frühen Erde, sondern bereits im Weltraum stattfand. In diesem Falle sollten diejenigen Moleküle, die wie Aminosäuren oder Zucker das Phänomen der Chiralität zeigen, im Kometenmaterial in Rechts- oder Linksform in ungleicher Menge vorkommen.

Aus den Kometenmessungen wollen die Wissenschaftler die jeweiligen Anteile an chiralen Molekülen kalkulieren. Daraus könnten sich weit reichende Aussagen über die Theorien zur ersten asymmetrischen Synthese treffen lassen: Werden dieselben chiralen Überschüsse für L-Aminosäuren und für D-Zucker, wie wir sie von Biomolekülen der Erde her kennen, auch in der Materie des Kometenkerns entdeckt, so gälte dies als ein starkes Indiz für den Transfer erster Moleküle aus dem Weltall auf die frühe Erde. Das würde darauf hindeuten, dass Meteoriteneinschläge die chemische Evolution angestoßen haben könnten. Ein solches Ergebnis würde darüber hinaus die Theorie stützen, die besagt, dass die ersten asymmetrischen molekularen Bausteine der DNA im Weltraum entstanden sind.

*Prof. Dr. Uwe J. Meierhenrich
Université de Nice-Sophia Antipolis*

Das Projekt wurde von der DFG durch das Programm „Eigene Stelle“ gefördert. Weitere Informationen unter ►www.chiralitaet.de und ►www.unice.fr/lcmba/aromes_naturels/

55

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 ortsgebundenen 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 Geisteswissenschaften 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.

Abbildungen in diesem Heft

Archiv (Titelbild); Querbach (S. 3, Rücktitel); Häger (S. 4/5, 6 o., 7, 8 o.); Walotek (S. 5 r., 6 u., 8 u.); Schulze (9-11); Bibliothèque nationale de France, Naf 4515, Bl. 1r (13); Bibliothèques d'Amiens Métropole, Les 95 E, Bl. 1r (S. 14 u.); Tours Bibliothèque Municipale (S. 14/15); Biblioteca Apostolica Vaticana, Reg. Lat. 750, Bl. 1r (S. 15 o.); Caughrean/Rayner (S. 16/17); Hubble Heritage Team (S. 18); NASA/JPL-Caltech (S. 19); Astrophysikalisches Institut Potsdam (S. 20 o.); Burrows/NASA (S. 20 u.); Steinhage (S. 21-23); Lindner-Wirsching/L'Illustration (S. 24/25, 27); Schröder (S. 26, 28); Machann (S. 29-31); Andrea Schmidt (S. 32/33); Grousset (S. 32 u. l., 34 u. r., 35 o.); Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (S. 33 u.); Frey (S. 34 o., 35 u.); Buchy (S. 34 u. l.); TU Dresden (S. 36/37, 37); von der Hecht/IODP (S. 38-41); Duscheck (S. 42-44); Schlossbetriebsgesellschaft mbH Augustusburg/Scharfenstein/Lichtenwalde (S. 45); Sächsische Landesbibliothek/Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (S. 46); SLUB Dresden/Deutsche Fotothek/Regine Richter (S. 47); Matyssek, SFB 607 (S. 48-52); ESA/AOES Medialab (S. 53, 54/55); MPI für Aeronomie, Katlenburg-Lindau (S. 55 r.)

In *Internationalen Graduiertenkollegs* bieten deutsche und ausländische Universitäten gemeinsam ein strukturiertes Promotionsprogramm an. Zusätzliche Förderungsmöglichkeiten 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 Delhi sowie das Chinesisch-Deutsche Zentrum für Wissenschaftsförderung in 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