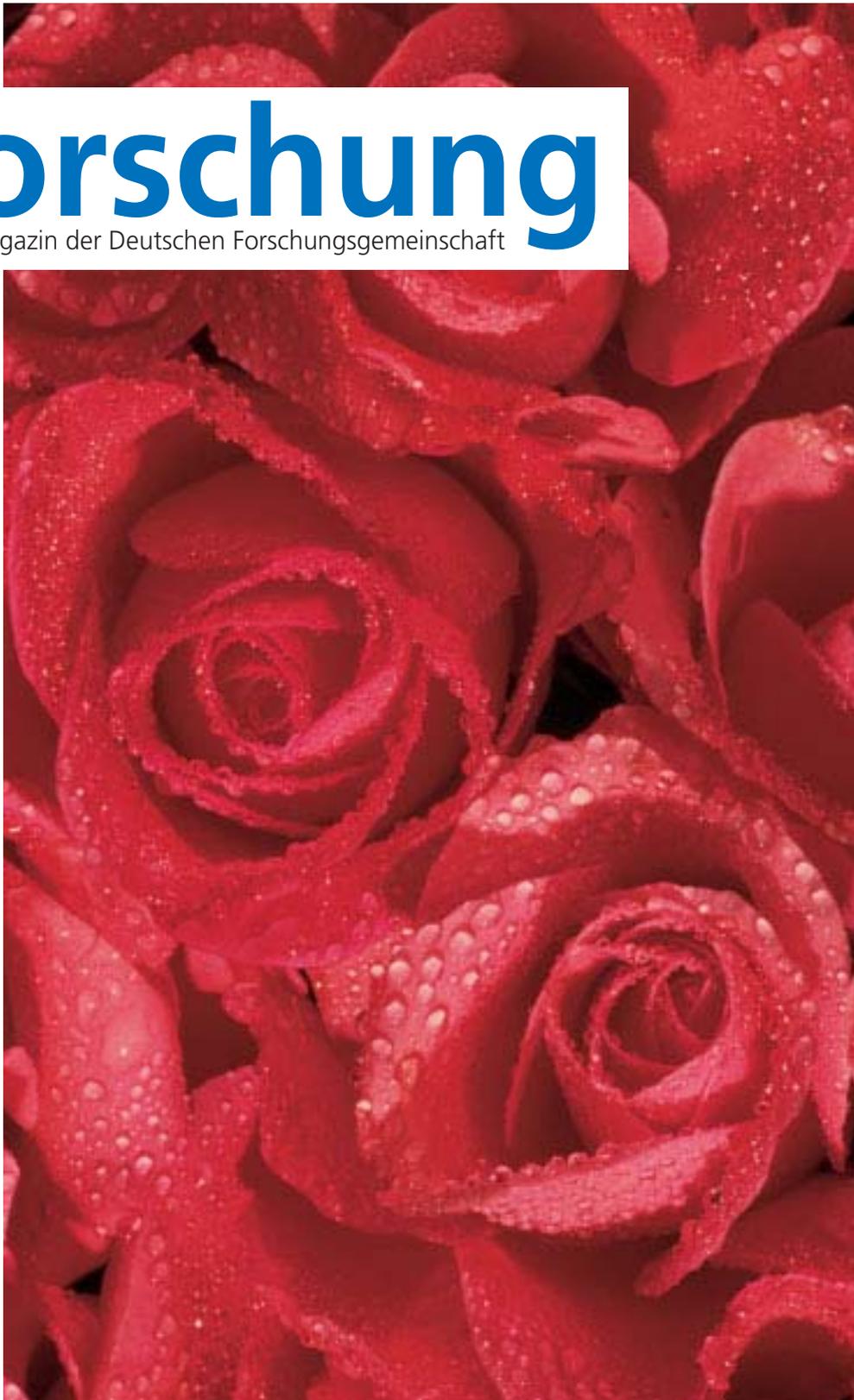


forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft



SPEZIAL 2004 ▶ Vom Liebesleben einer „Königin“ ▶ Der Blick in eine andere Welt ▶ Den Glutlawinen auf der Spur
▶ Meister Proper oder die Lyrik im Supermarkt ▶ Reisen bildet – Klischees bleiben

DFG

WILEY-VCH

In diesem Heft

Innovationen für die Mikrowelt

Die Mikrosystemtechnik beflügelt die Phantasie der Forscher, denn sie kann Wege zu neuen Produkten in Medizin, Analytik und Elektronik eröffnen. Dabei stellt sich die herausfordernde Aufgabe, winzige Bauteile zu neuartigen Mikrosystemen zusammenzufügen. Wissenschaftler untersuchen die Grundlagen dafür. **Seite 28**

Spannungen im Mundmilieu

Bei metallkeramischem Zahnersatz wie Kronen oder Brücken treten trotz routinemäßiger Fertigung Abplatzungen oder Risse in der keramischen Verblendung auf. Neue Studien zeigen, dass für diese Schädigungen Wärmespannungen verantwortlich sein können. Dabei spielen auch die Eigenschaften der verwendeten Materialpartner eine nicht zu unterschätzende Rolle. **Seite 52**

Vom Bildungswert des Reisens

Studien- oder Bildungsreisen müssen nicht unbedingt den Horizont erweitern. Sie können durchaus Klischees über ein Land verstärken, weil sie nicht ein realitätsnahes, sondern nur ein ausschnitthaftes Bild vermitteln. Zu diesem überraschenden Ergebnis kommt eine Studie, welche die Vorstellungen von 500 Bildungsreisenden nach Marokko untersucht hat – vor und nach dem touristischen Aufenthalt. **Seite 56**

Inhalt

... eine Brücke in die Zukunft	S. 2	Unter der „kalten Haut“	S. 38
Wenn Pflanzen über ihre Umwelt Auskunft geben	S. 4	Vom Liebesleben einer „Königin“	S. 44
Meister Proper oder die Lyrik im Supermarkt . .	S. 8	Gotische Ziergewölbe aus dem Computer	S. 48
Wie die Technik laufen lernt	S. 13	Im Dienste der Krone	S. 52
Den Glutlawinen auf der Spur	S. 16	Reisen bildet – Klischees bleiben	S. 56
Leben und Sterben im alten Ägypten	S. 22	Ein Kimaarchiv mit Haut und Haaren . . .	S. 60
Der Blick in eine andere Welt	S. 28	Ein Dasein auf großem Fuß	S. 64
Afghanistan: Die Kultur der Kafiren . .	S. 33	Also sprach Zarathustra .	S. 69
Nach Deutschland der Karriere wegen	S. 37	Von Feuersalamandern und neuen Arten	S. 70
		Die Deutsche Forschungsgemeinschaft .	S. 73



Das Sexualleben der Rose

Sie ist das Sinnbild der Liebe und wird als „Königin der Blumen“ apostrophiert: die Rose. Die Erforschung ihrer Vermehrung ist nicht nur für Pflanzenzüchter und Rosenliebhaber aufschlussreich. Seite 44
Foto: ZEFA-Maehl

Impressum

»forschung **SPEZIAL 2004**« 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. Der Jahresbezugspreis 2004 von »forschung« beträgt: € 44.00 zzgl. MwSt.; **Redaktion:** Dieter Hüsken (Chefredakteur, verantwortlich für den Inhalt, Layout); Ursula Borchardt-Allmendinger, Angela Kügler-Seifert (Koordination), Dr. Jutta Rateike, Dr. Rembert Unterstell; Mitarbeit an dieser Ausgabe: Dr. Andreas Archut; **Redaktionsassistent:** Renate Kahl, Ruth Thelen; **Druck:** Bonner Universitäts-Buchdruckerei; **Redaktionsanschrift:** DFG, Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Kennedyallee 40, 53175 Bonn, Tel.: 02 28/8 85-1; Fax: 02 28/8 85-21 80; E-mail: postmaster@dfg.de; Internet: www.dfg.de; gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit 50 % Recyclingfasern.

ISSN 0172-1518

liebe Leserinnen, liebe Leser,

wenn in der Öffentlichkeit über Wissenschaft und Technik diskutiert wird, zeigt sich nicht selten ein merkwürdiger Widerspruch. Da offenbaren sich auf der einen Seite Sorgen oder sogar Ängste, wenn über Themen wie Gentechnik, Klonen oder Tierversuche gesprochen wird. Andererseits erleben wir ein hohes Maß an Selbstverständlichkeit, wenn der Nutzen moderner Technik, wie ihn etwa die Telekommunikation beschert hat, in unseren Alltag integriert wird. Während einerseits kritische Fragen an die Wissenschaft nicht zu überhören sind – was nach großen Unfällen wie etwa in Tschernobyl durchaus verständlich ist –, verweigern sich andererseits nicht wenige, wenn es zum Beispiel darum geht, Folgen moderner Unterhaltungselektronik kritisch zu hinterfragen.

Die Frage, was nun nutzt und was schadet, wird nach allzu unterschiedlichen Gesichtspunkten beantwortet, die Analyse der Risiken im Einsatz neuer Technologien längst nicht mehr nach rein wissenschaftlichen, sondern auch nach subjektiven Kriterien vorgenommen. Wo jedoch Subjektivität dominiert, bleibt Objektivität leicht auf der Strecke. In einer solchen Situation ist es wichtig, sich an Fakten zu orientieren. Diese zu liefern, ist eine der großen Herausforderungen der Wissenschaft, ihre Methoden und Ziele in aller Öffentlichkeit und vor allem in aller Offenheit darzulegen, eine wichtige Voraussetzung zur Vertrauensbildung. „Vollkommenes Vertrauen“, so sagt die deutsche Erzählerin Anna Seghers, „hat man zu etwas, was man vollkommen versteht“. Nun wäre es vermessen, Vollkommenheit anzustreben, doch sich an einem solchen Ziel zu orientieren, ist ein Schritt in die richtige Richtung. Einblick zu geben und Einblick zu gewinnen, ist eine Voraussetzung für Glaubwürdigkeit. Und wer glaubwürdig sein will, muss den ständigen Dialog suchen. Dabei geht es nicht al-

lein um das „Ob“, sondern auch um das „Wie“.

Wenn wir Ihnen diese Sonderausgabe unseres Magazins „forschung“ als Reisebegleiter empfehlen, dann möchten wir damit einen kleinen Beitrag dazu leisten, Ergebnisse deutscher Spitzenforschung einem möglichst großen Kreis von Lesern abwechslungsreich zu präsentieren. Verbinden wollen wir damit aber auch die Hoffnung, die Denkweise und mehr noch das Handeln von Wissenschaftlern nachvollziehbarer zu machen. Schließlich kann Demokratie nur dann funktionieren, wenn die Bürgerinnen und Bürger die Zusammenhänge, auf denen

unsere durch Hochtechnologien gestützte Gesellschaft basiert, im Ansatz verstehen. Zudem ist es ein vorrangiges Interesse der Wissenschaft, die Jugend für ihre Anliegen zu gewinnen. Verständnis für die Ingenieur- und Naturwissenschaften zu wecken, also für einen Bereich, in dem die Nachwuchssituation nach wie vor kritisch ist, hat grundlegende Bedeutung: Hier geht es um unser aller Zukunft. Der vielleicht abgegriffen erscheinende Hinweis auf ein rohstoffarmes Land, das seinen wirtschaftlichen Wohlstand vor allem auf den Export von Ideen und Blaupausen begründet, hat unverändert Gültigkeit. Umso mehr gilt der Grundsatz, dass Investitionen in Bildung und Wissenschaft die besten Brücken in die Zukunft schlagen.

Auf vielen Gebieten spielt Deutschland in der internationalen Forschungslandschaft in der Cham-

Prof. Dr.
Ernst-Ludwig Winnacker

Auf vielen Forschungsfeldern spielt Deutschland in der Champions League. Doch nur durch verstärkte Anstrengungen werden wir auch morgen diese Position halten können. Dabei geht es um viel: nämlich um die Grundlagen unserer Zukunftssicherung. Deshalb sollten wir uns über eines im Klaren sein: Nur wer heute in die Wissenschaft investiert, schlägt ...

**...eine Brücke
in die**



Zukunft

pions League. In manchen Bereichen sind wir Weltspitze. Aber werden wir dies auch in Zukunft sein? Um unsere Position zu halten, muss mehr in die Forschung investiert werden. Das fängt bei der frühen Bildung an: Kinder für Wissenschaft zu interessieren, das Studium der Ingenieur- und Naturwissenschaften wieder attraktiv zu machen, dies sind entscheidende Grundlagen für unsere Zukunftssicherung. Das findet seine Fortsetzung in den Forschungsetats: In unserem Land wird viel zu wenig dafür ausgegeben. Der Anteil der Ausgaben für Forschung und Entwicklung an unserem Bruttosozialprodukt beträgt gerade einmal 2,4 Prozent. Natürlich ist sich die Wissenschaft der angespannten Lage der öffentlichen Haushalte bewusst. Dennoch darf man nicht verkennen, dass andere Länder nicht trotz, sondern gerade wegen ihrer angespannten Wirtschaftslage vermehrt in die Forschung investieren. Nicht nur der Staat, auch die Industrie ist hier gefordert. In den USA zum Beispiel gilt folgender Schlüssel: Die öffentlichen Geldgeber steuern ein Drittel, die Wirtschaft hingegen zwei Drittel zu den Forschungsausgaben bei. Bei uns liegt dieser Anteil immer noch unter diesen zwei Dritteln.

Die Qualität der Forschung kann und darf nicht allein am verfügbaren Geld gemessen werden. Mehr muss nicht unbedingt besser bedeuten. Deswegen setzt sich die DFG auch für die Verbesserung der strukturellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland ein. Die DFG, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, fördert die Wissenschaft „in allen ihren Zweigen“, wie es in ihrer Satzung heißt. Qualität ist dabei das Maß aller Dinge. Machen Sie sich selbst ein Bild davon. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre unseres Magazins.

*Ernst-Ludwig Winnacker
Präsident der Deutschen
Forschungsgemeinschaft*

Wenn Pflanzen über ihre Umwelt Auskunft geben

*Die Flora der Südägäis birgt für die Land-
und Forstwirtschaft wertvolle Hinweise auf das Klima
und die Bodenbeschaffenheit*





Die Pflanzenwelt der Südägäis ist so vielfältig wie die Landschaft. Kleine, unbewohnte Inseln wie die dem Nordwesten Kretas vorgelagerten Gramvousa-Inseln weisen oft eine deutlich andere Flora auf als Kreta selbst.



Pflanzen können als „Anzeiger“ Aufschluss geben über ihre Umwelt. Eine solche Bioindikation setzt jedoch das Erkennen von Indikatoreigenschaften der Pflanzen bezüglich wichtiger Boden- und Klimawerte voraus. Erstmals werden für ein größeres Florengebiet Südeuropas entsprechende Kennzahlen am Beispiel der griechischen Südägäis entwickelt. Dabei konnten „nebenbei“ noch bisher unbekannt Pflanzenarten entdeckt werden.

Die Pflanzendecke eines bestimmten Gebietes spiegelt in ihrer Artenzusammensetzung, Vitalität und Struktur wesentliche Ausprägungen der Standorteigenschaften eines Ökosystems wider. So wachsen viele Pflanzen auf Böden mit speziellen Eigenschaften, beispielsweise sehr feuchten, sehr stickstoffarmen oder sehr sauren, oder aber nur unter besonderen klimatischen Wärmebedingungen. Hieraus ergeben sich Indikatoreigenschaften, die zur Standortklassifikation, zur Umweltüberwachung (passives Monitoring) oder zur ökologischen Interpretation von Vegetationsausschnitten genutzt werden können. Indikatorpflanzen sind „Zeiger“ beziehungsweise „Anzeiger“ des energetisch-stofflichen Naturhaushalts, insbesondere dessen biowirksamer Systemkomponenten, und – natürlich – auch anthropogener und biotischer Einflüsse.

Hinsichtlich der Standorteigenschaften der Wuchsorte von Pflanzen liegt für Mitteleuropa ein umfangreiches Wissen vor, das vor allem von der Forstbotanik und forstlichen Standortkunde zusammengetragen und entwickelt wurde. Das bereits in siebter Auflage erschienene Standardwerk „Pflanzensoziologische Exkursionsflora“ des Forstbotanikers Erich Oberdorfer enthält umfangreiche Angaben dieser Art. Der Möglichkeit einer „numerischen“ Behandlung der Phytoindikation und damit einer Quantifizierung und weiteren

Operationalisierung bereitete der Geobotaniker Heinz Ellenberg mit seinem System von „Zeigerwerten“ den Weg. Ausgehend von fünfstufigen Skalen bei den Ackerwildkräutern entwickelte er neun- bis zwölfstufige Zeigerwertskalen für die Farn- und Blütenpflanzen Mitteleuropas.

Die Möglichkeiten einer praxisbezogenen Anwendung dieses Systems sind vielfältig. Sie können etwa in der Landwirtschaft bei der Einführung neuer Nutzpflanzen helfen, sie können die forstliche Planung zum Beispiel bei der Auswahl der Baumarten unterstützen oder wichtige Hinweise für das Weidemanagement geben. Ebenso liefern sie Informationen für die Tourismusentwicklung einer Region. Auch für die Kultur südägäischer Pflanzen sind die Zeigerwerte von Bedeutung. Viele dieser Arten sind potenziell oder unmittelbar gefährdet. Exakte Kenntnisse über ihre Standortansprüche sind ein wichtiges Element artenschutzorientierter Biodiversitätsforschung. In der Taxonomie, der Abgrenzung und Benennung von Pflanzensippen kann das

ökologische Verhalten ein Klassifikationsmerkmal sein.

Ellenbergs Skala der Temperaturzahlen umfasst Werte von eins bis neun. Der jeweils kleinste Wert gibt die geringste Intensität eines Standortfaktors wieder, der größte Wert die höchste Intensität, während die Zwischenwerte den Übergang zwischen diesen beiden Extremen bezeichnen. Pflanzen mit der Temperaturzahl eins sind „Kältezeiger“, die nur in hohen Gebirgslagen vorkommen. Die Temperaturzahl drei wird den vorwiegend in subalpinen Lagen verbreiteten „Kühlezeigern“ zugeordnet. Die „Mäßigwärmezeiger“ (Temperaturzahl fünf) sind Pflanzen der tiefen bis montanen Lagen mit einem Schwerpunkt im submontan-temperaten Bereich. Die Temperaturzahl sieben erhalten „Wärmezeiger“, den Wert neun „extreme Wärmezeiger“, die

ringste Intensität eines Standortfaktors wieder, der größte Wert die höchste Intensität, während die Zwischenwerte den Übergang zwischen diesen beiden Extremen bezeichnen. Pflanzen mit der Temperaturzahl eins sind „Kältezeiger“, die nur in hohen Gebirgslagen vorkommen. Die Temperaturzahl drei wird den vorwiegend in subalpinen Lagen verbreiteten „Kühlezeigern“ zugeordnet. Die „Mäßigwärmezeiger“ (Temperaturzahl fünf) sind Pflanzen der tiefen bis montanen Lagen mit einem Schwerpunkt im submontan-temperaten Bereich. Die Temperaturzahl sieben erhalten „Wärmezeiger“, den Wert neun „extreme Wärmezeiger“, die

schwerpunktmäßig im Mediterranraum verbreitet sind.

Pflanzenarten mit einer weiten ökologischen Amplitude bezüglich eines Standortfaktors, die also im Bereich eines breiten Standortspektrums auftreten, haben dementsprechend keine Indikatorfunktion. Das Verhalten solcher Arten wird als indifferent bezeichnet. Mit Hilfe mittlerer oder dominierender Zeigerwerte können Räume auf verschiedener Maßstabsebene über



die Phytoindikation durch detaillierte ökologische Karten (Klimakarten, Bodenzustandskarten) klassifiziert werden. Exakte Punktmessungen allein reichen schwerlich aus, um flächendeckende Aussagen zu treffen. Erst die nahezu allgegenwärtige Vegetation ermöglicht – am sichersten in der Zusammenschau mit geomorphologischen Merkmalen – entsprechende Flächenkartierungen.

Das Zeigerwertsystem Ellenbergs findet heute – knapp fünf Jahrzehnte nach seiner Einführung – breiten Eingang in botanisch-ökologische und landschaftsplanerische Fragestellungen. Über den ursprünglichen geographischen Rahmen

„Zeigerwerte“ nutzen der Landwirtschaft, dem Weidemanagement, der forstlichen Planung und selbst dem Tourismus



In den feuchten Bergen Kretas blühen während der Schneeschmelze Krokusse (*Crocus sieberi*) (links). Die dornige Cichorie (rechts) ist ein beliebtes Wildgemüse.

konnte es auf benachbarte Gebiete bis Skandinavien, Polen, Ungarn, Rumänien, die Benelux-Staaten und Großbritannien ausgedehnt und in leicht veränderter Form übernommen werden. Für eine Gebietsflora des europäischen Südens oder des Mittelmeerraums lagen bis vor kurzem keine entsprechenden Untersuchungen vor. Erst 1994 wurde eine Zeigerwerttabelle vorgestellt, die die Indikatoreigenschaften der Flora der landschaftlich vielgestaltigen griechischen Insel Naxos bewertet.

Am Botanischen Garten und Botanischem Museum der Freien Universität Berlin ist seit 1997 das Forschungsprojekt „Zeigerwerte der

Gefäßpflanzenflora der Südägäis (Griechenland)“ angesiedelt. Die pflanzengeographische Provinz „Südägäis“ reicht von der Insel Kythera im Westen über Kreta und Karpathos bis Rhodos im Osten. Sie beherbergt rund 2500 verschiedene Arten und Unterarten von höheren Pflanzen (allen Pflanzensippen außer Moosen, Flechten, Pilzen, Algen). Ziel des Projekts ist es, für alle Farn- und Blütenpflanzen ökologische Zeigerwerte hinsichtlich Wärme-, Feuchte-, Stickstoff- und Lichtversorgung sowie Bodenreaktionsverhältnissen und Salzbeeinflussung, ergänzt durch weitere spezifische Zeigerfunktionen, zu ermitteln. Das Ellenbergsche Zeigerwertesystem musste dafür modifiziert werden. So wurde die Skala der Temperaturzahlen an die südmediterranen Bedingungen mit ihren viel höheren Temperaturen angepasst. Auch ist die Trocken-



heit der Standorte größer als in Mitteleuropa, wodurch sich ein anderes Spektrum an Feuchtezahlen ergibt.

Umfangreiche Geländearbeiten sind nötig, um das ökologische Verhalten der Pflanzen zu erkennen. Zu verschiedenen Jahreszeiten wiederholte und jeweils ergänzte Vegetationsaufnahmen, verbunden mit komplexen Standortcharakterisierungen, bilden dabei den Ar-

beitsschwerpunkt. Bodenproben wurden an der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg (LUFA) analysiert und die Ergebnisse mit den floristisch-ökologischen Daten in einer Datenbank zusammenggeführt, in die auch Literatur- und Herbaraten Eingang finden. Besonders zeitaufwendig sind die botanischen Bestimmungsarbeiten (Determinationen) im Gelände nicht sicher benennbarer Pflanzen, die mit Hilfe der umfangreichen Vergleichssammlungen (Herbarien) und der Fachbibliothek des Botanischen Museums Berlin-Dahlem erfolgen. Eine richtige Bestimmung der Pflanzensippen ist entscheidend für die Qualität der Untersuchungsergebnisse und damit unerlässliche Basis für vegetationsökologische Untersuchungen.

Überraschungen gibt es dabei immer wieder, obwohl Kreta eine der floristisch am besten bekannten Regionen des Mittelmeerraums ist. So musste zum Beispiel *Trifolium phitosianum*, eine Klee-Art, als neu für die Wissenschaft beschrieben werden. Es handelt sich um eine kleine, einjährige Art, die in ihrer Verbreitung auf Ostkreta beschränkt zu sein scheint und die Bedeutung Kretas als eines Diversitätszentrums der Gattung *Trifolium* unterstreicht (38 Arten und Unterarten). Weitere Arten warten auf ihre Erstbeschreibung, viele wurden für das Untersuchungsgebiet erstmals nachgewiesen.

Mittelfristig besteht die Möglichkeit, von der Südägäis als dem südlichsten Gebiet Europas ausgehend die Lücke zum mitteleuropäischen Zeigerwertesystem zu schließen und damit ein europäisches Zeigerwertesystem zu entwickeln.

Dr. Niels Böhling
Kirchheim unter Teck
Prof. Dr. Werner Greuter
Dr. Thomas Raus
Freie Universität Berlin,
Botanischer Garten
und Museum, Berlin

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Meister Proper oder die Lyrik im Supermarkt

Tempo, Tesa und Nivea – Markennamen sind in aller Munde. Was hinter den schillernden Produktnamen unserer modernen Waren- und Konsumwelt steckt, ist nicht nur für den Sprachwissenschaftler aufschlussreich

Bedenk es wohl, eh Du sie taufst! / Bedeutsam sind die Namen; / Und fasse mir Dein liebes Bild / Nun in den rechten Rahmen“. So dichtete einst Theodor Storm, und was zu Gründerzeiten auf Menschenkinder gemünzt war, gilt in der Konsumgesellschaft für Markenartikel allemal. Lange vorbei die Tage, da Abführmittel Darmol, Bügelstärke Glättolin und Duftwasser schlicht Pour Etre Aimée heißen konnten: Das Nomen ist heute mehr Omen denn je.

Moderne Markennamen sind, was die Zeichenbedeutung betrifft, Wundertüten. Sie informieren nicht mehr über das Produkt, sondern verleihen ihm „Persönlichkeit“. Sie wecken Wünsche, schaffen Mythen und verheißen Glück und werden im Zuge der Werbekampagne re-

gelrecht mit Bedeutung aufgeladen, so etwa das spritzige Kelts in einem lautmalerischen Hörfunk-Spot (Du derst, Lu diest, Gla da – Pa dils...) oder die Duftserie Kouros von Yves Saint Laurent, deren Image-Mischung aus Schönheit, Antike und Mythologie – Kouros heißt wörtlich junger Held – auch ohne Griechisch-Kenntnisse verstanden wird.



Name und Produkt gehen im täglichen Gebrauch eine enge, fast symbiotische Beziehung ein, die auch in anderen Situationen zu spüren ist. Wer etwa im Sommerurlaub nichtsahnend entdeckt, dass Dr. Oetker hinter dem Brenner als Cameo firmiert, Meister Proper sich dort Mastro Lindo nennt und der Eiswimpel Algida anstatt Langnese verheißt, dem erscheint das fast wie

Heute sind Markennamen längst international. Sie sind das Esperanto unserer Zeit. Immer beliebter werden Potpourris, wie hier ein deutsch-mexikanischer Wortmix, entstanden für die mexikanischen Wochen eines amerikanischen Burgerkonzerns. Rechts: Zu Zeiten des deutschen Wirtschaftswunders folgte die Namengebung noch anderen Gesetzen – schnörkellos und direkt in der Aussage.



ein kleiner Verrat. Die fremden Alltagswörter aus dem Kommerz entfalten eine ganz besondere Bedeutsamkeit, die Sprachpsychologen als „feeling significance“ (gefühlte Bedeutung) bezeichnen. Das Sinnempfinden koppelt sich dabei vom Namensursprung ab und beginnt

Millionenfach bewährt ist



Schmerz laß nach
bei

**HÜHNERAUGEN,
HORNHAUT U. WARZEN**

Coca-Cola

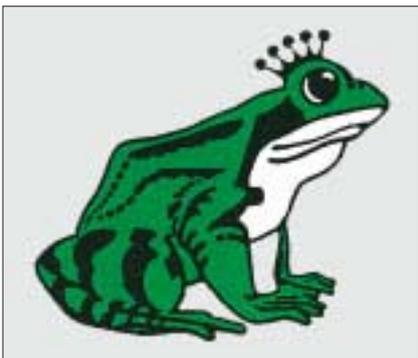
Schutzmarke

gänzlich eigene Bahnen zu ziehen. Umso mehr überrascht es dann, wenn man die wahre Wortgeschichte entdeckt. Nivea zum Beispiel geht auf lateinisch „niveus“ (schneeweiß) zurück, in Whiskas steckt englisch „whiskers“ (das

Schnurrhaar der Katze), und Spar ist niederländisch für Tannenbaum. Auch Erdal ist kein türkischer Vorname, sondern steht für einen früheren Firmensitz in der Erthalstraße zu Mainz. Hinter Eduscho steht, bei allem Costa-Rica-Flair, ganz hanseatisch Firmengründer Eduard Schopf, und Saba strahlt, für sich allein genommen, doch sehr viel bunter als die Ausgangsbasis Schwarzwälder Apparatebau, die immerhin deutsche Wertarbeit signalisiert.

Bisweilen ranken sich Legenden um den Namen, und die Suche nach Motiven wird zum Ratespiel. Bei Nylon etwa, der Zauberfaser

umphschreis „Now You Lousy Old Nipponese!“ als Ursprungsformel ins Feld. Auch eine Spur von Klassenkampf macht sich zuweilen bei der Namensgebung bemerkbar. So etwa bei Dederon, der realsozialistischen Alternative zu Nylon, Perlon und Trevira. Im Namen steckt hier nicht nur stolz das Staatskürzel der Deutschen Demokratischen Republik, das neugewonnene Planwirtschafts-Selbstbewusstsein wird zugleich auch lyrisch zum Ausdruck gebracht. In „Leinengeflüster“, einem die Werbekampagne von 1959 begleitenden Gedicht, muss sich ein Dederon-Flatterhemdchen der aufdringlichen



Ob Coca-Cola oder Dr. Oetker, Whiskas oder Spar, wer kennt sie nicht, die großen Marken unserer Zeit. Doch nur die wenigsten wissen, dass zum Beispiel „Erdal“ Mainzer Dialekt ist und von dem früheren Firmensitz „Erthalstraße“ abgeleitet wurde (oben der „Erdal-Frosch“ in seinen Ausführungen von 1900, 1962 und 1971, von links), oder sich „Rowenta“ (rechts die Genese des Originalschriftzuges) aus mehreren Buchstaben des Gründernamens zusammensetzt.



von Dupont, in der manche die auch linguistisch gelungene Verbindung aus vinyl und cotton sehen. Andere leiten sie aus no run (keine Laufmaschen) ab, betrachten die New Yorker Siegestsäule (New York Pylon) als Namenspatronin oder führen gar die Anfangsbuchstaben des offenbar an die Adresse der Wettbewerbskonkurrenz aus Fernost gerichteten Tri-



Avancen von Nylon-Oberhemd und Perlon-Schlafanzug erwehren. Dabei zeigt es sich gleichermaßen staatstragend wie keck:

Ein Flatterhemdchen, zart und fein, / pastellgetönt wie Elfenbein, / mit kleinen Seitenschlitzen / und rundum voller Spitzen / wiegt sich verträumt im Winde. / Ein Schlafanzug, grün-gelb gestreift, / der gleichfalls säuberlich geseift, /

hängt auf der Nachbarleine / und wedelt mit dem Beine / hinüber zu dem Kinde.

Voll Neid denkt sich das Oberhemd, / das fest auf seinem Bügel klemmt, / die zwei verliebt im Bette.

ROWENTA

ROWENTA

Rowenta

Rowenta

Rowenta

Rowenta

Rowenta

Rowenta

Rowenta

Rowenta

/ Und schwups! schickt's 'ne Manschette, / das Liebesglück zu stören. / Doch ach, sein Arm erreicht sie nicht.... / Da räuspert sich das Hemd und spricht: / „Bin NYLON, Made in USA, / Sie sind gewiss von ebenda, / Sie sollten mich erhören!“

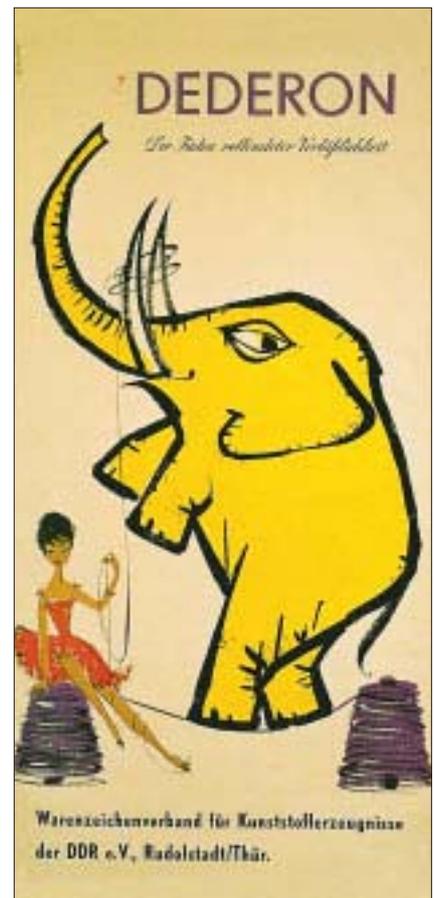
Der Schlafanzug, er zappelt wild / Und zeigt empört sein Firmenschild. / „Gestatten, meine Dame, / hier: PERLON ist mein Name. / Bin so wie Sie vom besten! / Denn ich möcht' wetten, schönes Kind, / dass dieses Perlonspitzen sind, / die Ihre Anmut zieren / uns Männer zu verführen, / Sie sind bestimmt vom Westen!“

Das Hemdchen hört sie kichernd an. / Dann spricht es zu dem Leinenmann: / „Ich wurd' erzeugt wie Sie, mein Herr, / doch stamm' ich aus der DDR, / drum, wenn's beliebt, vom Osten.“ / „Nein!“, ruft entsetzt der weiße Gauch / und bläht voll Luft den stolzen Bauch, / „Sie sind von DEDERON? / Und fast begehrt' ich schon / Den Spitzenmund zu kosten!“

Das war dem Flatterhemd zu dumm: / „Sie war'n, wie ich, PETROLEUM! / Doch dass Sie einen reich gemacht / Und nicht dem Volk Gewinn gebracht, / das sollt' Sie beide schämen!“

Einmal getauft, behält die Marke den Namen ein Leben lang. Änderungen sind selten und betreffen in

Durch die Gestaltung des Logos wird eine im Markennamen angelegte Bedeutung veranschaulicht, so etwa bei „Whiskas“ (aus dem Englischen „Whiskers“ = Schnurrhaar der Katze), der bei „Spar“, das im Niederländischen „Tanne“ bedeutet. Markennamen und Logos spiegeln auch den Zeitgeist wider. Das DDR-Produkt „Dederon - Der Faden vollendeter Verlässlichkeit“ war die sozialistische Antwort auf die kapitalistischen Produkte Nylon und Perlon. Oben: „Dr. Oetker“, einmal mit dem deutschen, einmal mit dem italienischen Logo.



Einmal getauft, behält eine Marke ihren Namen ein Leben lang. Pepsi-Cola ist dafür ein anschauliches Beispiel. Zwischen dem Logo von 1898 und dem unserer Tage liegen gravierende Unterschiede im Zeitgeschmack.

der Regel eher Logo und Typographie. Aber die Namengebungspraxis legt immer auch Zeugnis vom Zeitgeist ab: Zu Wirtschaftswunderzeiten hießen Autos Tempo, Rekord oder Blitz, in den sechziger Jahren war mit Modellen wie Consul, Comodore und Diplomat eher Sozialprestige verbunden. Und die erst südländisch (Ascona, Capri, Monza), dann sportlich (Polo, Derby, Golf) gefärbten Anklänge an die Freizeitgesellschaft in den siebziger und achtziger Jahren werden heutzutage von postmoderner Technologie (Vectra, Calibra, Omega) und Anleihen aus der Erlebniswelt (Monterey, Explorer, Galaxy) verdrängt. Ähnliches gilt für die Sparte Parfum, wo die Taufpraxis zudem auch klassische Rollenklischees offenbart. Damendüfte wie Calèche (Kutsche), White Linen oder J'ai osé (Ich habe gewagt) verkörpern romantisierende Jungmädchenträume, Clandestine (heimlich), Mystère, Unspoken stehen für die Rätselhaftigkeit der Frau. Herrenparfums suggerieren dagegen Tiefgang (Background, Spirit, Caractère) oder glorifizieren das ewig männliche „Unterwegs“ (Nightflight, Horizon, Globe). Die sprachlichen Zutaten für Warennamen sind dabei längst international: Die Mehrsprachigkeit des Menschen, seit jeher ein humanistischer Traum, scheint ausgerechnet im Kommerz nun Wirklichkeit zu werden. Ob Raguletto, Valensina, Zottarella, Dentagard – die Marken sind das Esperanto unserer Zeit. Ohne allzu große grammatische und kulturelle Skrupel – siehe „Los Wochos“ oder „McMex“ – wird ein Potpourri komponiert. Dies kann jedoch hin und wieder Artikulationschwierigkeiten bereiten. So wird der spanische Sekt Freixenet im Rheinland immer mal wieder Freicksänte genannt, und auch das Armani-Duftwasser Giò geht hie und da als Ghijo über den Tisch.



1898



1906



1940



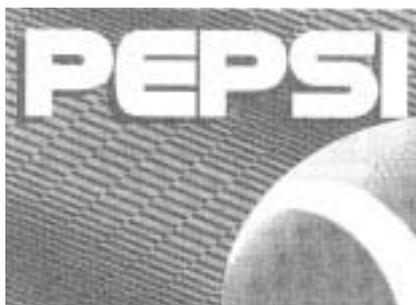
1950



1967



1991-92



1996-97

Glatt wird das Markennamenparkett bisweilen auch beim Export auf einen anderssprachigen Markt. Linguistische Fallstricke lauern fast überall auf der Welt. Im Deutschland der sechziger Jahre war etwa die amerikanische Cream Puff (englisch puff bezeichnet ursprünglich den Wattebausch) ein Anlass zum Runzeln der Stirn. Sie wurde diskret zu Creme Paff geschönt. Auch der englische Hersteller Sunbeam hatte mit seinem Lockenstab Mist Stick bei uns nur geringen Erfolg. Die ägyptische Privat-Airline Misair (Elend) landete in Frankreich auf dem Bauch, und in Quebec erwies sich die amerikanische Milchproduktserie Pet (Furz) als Schuss in den Wind. Der Chevrolet Nova war in Puerto Rico ein Ladenhüter (no va = fährt nicht) und wurde umgehend in Caribe umbenannt. Die finnische Biersorte Koff (husten) schließlich sorgte beim USA-Export ebenso für Heiterkeit wie der Türschlossenteiser Super Piss.

Die Bande zwischen Werbung und Wortschatz sind immer eng und hinterlassen ihre Spuren auch im Alltagssprachgebrauch – zum Beispiel dann, wenn ein starker Markenname den Gattungsbegriff zu ersetzen beginnt. Tempo und Tesa stehen hierzulande synonym für Papiertaschentuch und Klebefilm, in Frankreich erfüllen die dortigen Marktführer kleenex und scotch dieselbe Funktion. Markennamen werden zudem – man denke an Nogger Dir einen! oder I swatch very much! – vielsagend in Werbeslogans integriert und sind auch in der Jugendsprache präsent. Die schülergerechte Steigerung von alt ist asbach und die F-Jugendklasse im Fußball als Pampers-Liga bekannt. Ein süßes Mädchen wird in Italien una nutella, der Milchbubi ragazzo ovomaltina genannt. Der käsig Strandbesucher ist in Frankreich blanc comme un cachet d'aspirine (weiß wie ein Aspirin), und die Pariser Mopeds zur Hundehäufchenbeseitigung sind als kakasaki auf Tour.

Die Leuchtkraft solcher Sprachbilder wirkt unmittelbar und macht selbst vor Politik und Feuilleton nicht halt: „We found a solution to

the Rubik's cube in front of us" (Wir fanden die Lösung für den Zauberwürfel) resümierte John Major, damals noch britischer Premier, die Ergebnisse des EG-Gipfels von Edinburgh im Jahre 1992, und ein umtriebiger Festival-Organisator im Norden der Republik wurde einst als „blondlockiger GTI des niederdeutschen Konzertunwesens“ bezeichnet. Wo der gordische Knoten von Rubik's cube, Achill und der Löwe gar von Justus Frantz und dem GTI abgelöst werden, sollte man dennoch nicht den Untergang des Abendlandes beschwören.

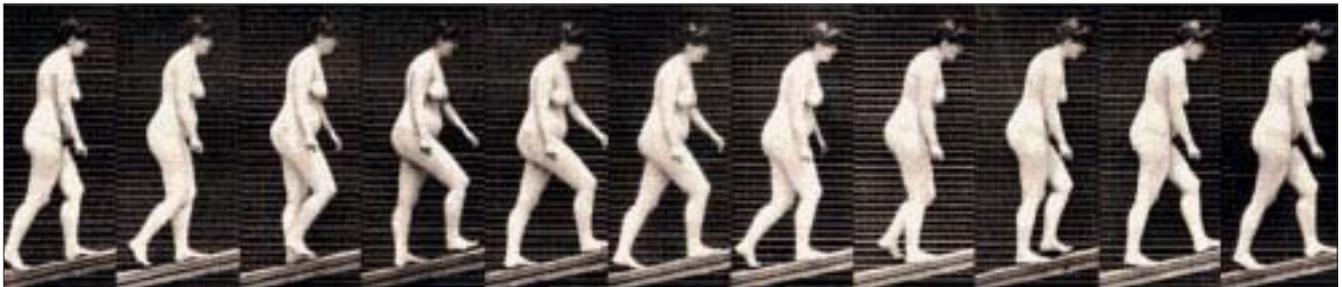
Die Tatsache, dass Produktnamen und die durch sie vermittelte Vorstellungswelt heutzutage verstärkt als Basis für Metaphern, Anspielungen und humorige Wortschöpfungen fungieren, verdeutlicht den Stellenwert, den Konsumgüter in der heutigen Lebenswelt haben. Das mag man bedauern

Wie die Technik laufen lernt

Wenn Biologen und Ingenieure das menschliche Laufen untersuchen, werden erstaunliche Entwicklungen möglich: zum Beispiel vierbeinige Laufmaschinen

Biologische Systeme, insbesondere Tiere und Menschen, laufen, schwimmen und fliegen; technische Transportgeräte rollen, schwimmen und fliegen. Dies ist jedenfalls der heutige Stand. Eine typische Komponente der biologischen Fortbewegung ist das Bein, das während der Evolution, ähnlich dem Flügel, aus den Flossen

Vögeln und Fischen und selbst bei Insekten, an der Bewältigung sehr großer Entfernungen. Geschwindigkeiten technischer Systeme sind um Größenordnungen höher. Sie erfordern daher auch Energien, die biologischen Systemen gar nicht zur Verfügung stehen. Dennoch: die Ausnutzung biologischer Ressourcen erfolgt ungleich effizienter als in



oder beklagen – linguistisch verbieten kann man es nicht.

Grund genug also, die Markennamen nicht sauertöpfisch als „beschämenden Blödsinn“ zu verdammen, wie es der Sprachsündenjäger Wustmann um die Jahrhundertwende tat. Sondern sie vielmehr als lyrische „parole-caramella“ zu sehen, als Sahnestückchen im Supermarkt, die sich der Kunde auf der Zunge zergehen lassen kann. Mit anderen Worten: Come in and find out!

*Dr. Christoph Platen
Universität München*

Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Normalverfahrens mit einer Druckbeihilfe gefördert. Die Studie ist unter dem Titel „Ökonomie. Zur Produktnamen-Linguistik im europäischen Binnenmarkt“ im Max Niemeyer-Verlag Tübingen erschienen.

von Meeresbewohnern hervorging. Eine ebenso typische Komponente der technischen Fortbewegung ist das Rad, gewissermaßen der Urtyp eines menschlichen Artefakts, das es in der Natur nicht gibt. Beine, Flügel, Flossen erlauben eine einfache Lösung logistischer Probleme, wie etwa den Transport von Lasten. Ihre instrumentelle Realisierung ist auf Bewältigung einer ungeordneten und häufig sich in unvorhersehbarer Weise ändernden Umgebung eingestellt; die technische Fortbewegung braucht zumindest zu Lande organisierte Trassen und Flächen, Schiffe brauchen Häfen, Flugzeuge Landebahnen.

Die Geschwindigkeiten biologischer Fortbewegung sind recht verschieden und orientieren sich häufig an den Anforderungen des Jägers und des Gejagten, des Räubers und des Opfers, aber auch, wie bei

Laufvorgänge haben schon immer fasziniert. Eine der ersten Darstellungen von laufenden Menschen geht zurück auf den Anfang des vergangenen Jahrhunderts. Sie stammt von dem Fotografen Eadweard Muybridge (1830-1904).

der Technik. Das gilt auch für das Laufen. Es lohnt sich daher, trotz der völlig unterschiedlichen Problemstellungen in Biologie und Technik, einmal hinzuschauen, wie die Biologie die Probleme löst. Technisches Laufen ist also bezüglich Qualität, Effizienz und Intelligenz vom biologischen Laufen weit entfernt. Die biologische Konstruktion von Antrieben etwa über Gelenke und Muskeln ist effektiver, meistens auch leichter, bestimmt anpassungsfähiger und energiefreundlicher als technische Antriebe. Darüber hinaus bieten Muskelgruppen, 13

häufig jedenfalls, eine gewisse Redundanz der Bewegungserzeugung, was zum Beispiel dann einen Vorteil darstellt, wenn einige Muskeln ermüden. Biologische Regelkonzepte reagieren schnell und intelligent auf Änderungen der Umgebung. Dies kann man technisch zum heutigen Zeitpunkt kaum nachbilden. Biologische Systeme

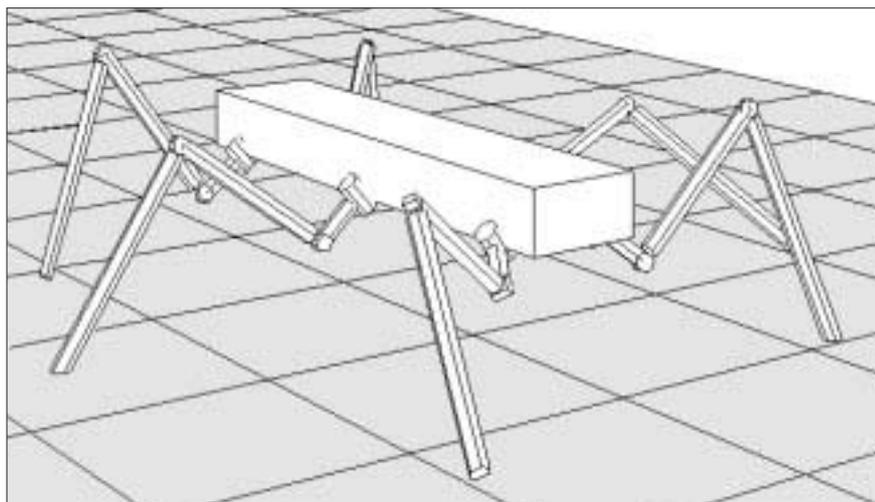
wegungszustand vorliegen, wie sie technisch nicht nachzuvollziehen wären. Erstaunlich ist dabei die Tatsache, dass hierzu nur selten neue und unbekannte physikalische Prinzipien angewendet, sondern vorhandene und bekannte nur wesentlich besser genutzt und realisiert werden. Das Bein als das zentrale Instrument des Laufens hat sich im

von der Laufstabilität her sehr gutmütig sind. Zweibeiner finden sich weniger oft, da zweibeiniges Laufen immer auch dynamische Elemente enthält und daher schwerer zu verwirklichen ist.

Als Vorbild für sechsbeiniges Laufen dient seit Jahren die Stabheuschrecke, die seitens der Biologie besonders gut erforscht ist. Deutschland hält hier eine internationale Spitzenstellung. Einige der in Deutschland wie auch in den USA und in Japan verwirklichten sechsbeinigen Laufmaschinen haben diese Beinkonstruktion sowie die bei Stabheuschrecken untersuchte dezentrale Kontrollstruktur sinngemäß übernommen und sehr erfolgreich eingesetzt. Sie ist inzwischen weltweit die am meisten verbreitete Regelungsstruktur für sechsbeinige Roboter.

Ein Problem bei der Realisierung solcher technischen Beine besteht im Verhältnis der installierbaren Gelenkleistung zum Gewicht. Dieses Verhältnis von Leistung zu Gewicht nimmt in der Biologie etwa mit der Potenz 1,5 der geometrischen Abmessungen ab. Das Volumen und damit das Gewicht eines Lebewesens wächst mit der dritten Potenz seiner Größe, die Muskelkraft aber nur mit der zweiten Potenz der Abmessungen, da sie näherungsweise der Muskelquerschnittsfläche proportional ist. Dies ergibt ein immer schlechteres Leistungsgewicht für größere Lebewesen, während kleinere Tiere, wie zum Beispiel Ameisen, meistens große Verhältnisse aufweisen. Baut man eine sechsbeinige Maschine nach dem Vorbild von Insekten, so kann man daher deren Leistungsverhältnisse mit technischen Mitteln nicht erreichen.

Weltweit dürften 20 bis 30 solcher Sechsbener existieren, Vierbeiner dagegen nur etwa die Hälfte. Betrachtet man biologische Vierbeiner, so ist von daher die technische Problematik ganz offensichtlich: von der Maus bis zum Elefanten und vom Pfeifhasen bis zum Pferd laufen, traben und galoppieren vierbeinige Tiere. Sie nutzen dabei Bewegungsbereiche, zum Teil in dominanter Weise, die nur noch dynamisch stabilisierbar sind und



besitzen selbstlernende Eigenschaften, sind daher extrem anpassungsfähig und können sich bis zu einem gewissen Umfang selbst reparieren. Erste Ansätze für selbstreparierende Systeme gibt es in der Raumfahrt, von biologischer Perfektion sind wir dabei aber noch weit entfernt.

Die sensorische Ausstattung biologischer Systeme ist überwältigend. Biologische Sensoren überwachen jedes Detail eines Bewegungsablaufes in vollständiger und vielfach redundanter Weise, sodass den Regelstrukturen innerhalb und außerhalb des Gehirns Informationen über den augenblicklichen Be-

Die Stabheuschrecke dient den Ingenieuren schon lange als Vorbild für sechsbeiniges Laufen. In Robotern wurde diese Beinkonstruktion übernommen. Dabei werden die Muskelantriebe durch Elektromotoren ersetzt.

Verlauf einer Jahrtausenden dauernden Evolution an verschiedenste Laufanforderungen angepasst. Will man Laufmaschinen bauen, so sollte man zunächst die biologischen Lösungen nach ihrem konstruktiven Ideeninhalt abfragen. Technisch werden am häufigsten sechsbeinige und an zweiter Stelle vierbeinige Maschinen realisiert, da sie

keine Merkmale statischer Stabilität mehr aufweisen. Als Folge werden nicht nur die Laufmuster komplizierter, da sie Sprünge, Stabilisierung in der Luft, Stoßvermeidung bei den kurzfristigen Bodenkontakten einschließen. Auch die Anforderungen an die Regelungsstrukturen mit aufwendigen adaptiven und intelligenten Eigenschaften sowie beispielsweise an die Kontrolle der Augenbewegungen werden ungleich größer als beim Sechsheiner. Im Rahmen des von der DFG geförderten Schwerpunktprogramms „Autonomes Laufen“ werden zwei Vierbeiner entwickelt und gebaut. Vierbeiner bieten eine Reihe von Vorteilen: Sie sind schnell, beweglich, können leichter Hindernisse übersteigen und erfordern wegen der vier Beine geringeren mechanischen Aufwand als Sechsheiner.

Zweibeinige Laufmaschinen orientieren sich verständlicherweise am menschlichen Vorbild, dessen Laufeigenschaften schon seit Jahrzehnten Gegenstand medizinischer Forschung sind. Die kinematischen Abläufe sind daher bestens bekannt, über die dahinterstehende Sensorik weiß man zwar ebenfalls viel, längst jedoch nicht alles. Daher befassen sich auch im Schwerpunktprogramm „Autono-

mes Laufen“ Mediziner und Biologen mit dem Studium von Bewegungsabläufen und Lernvorgängen beim Laufen. Ein Zweibeiner mit Fähigkeiten zum dynamischen Laufen wird zur Zeit im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Autonomes Laufen“ gebaut. Im Unterschied zu den bisherigen Entwicklungen soll er dynamisch laufen. Darin unterscheidet er sich von den Entwicklungen der Japaner, die im Bereich der zweibeinigen Laufmaschinen weltweit führend sind.

Eine bereits sehr weit fortgeschrittene Maschine stellt WABIAN dar, die erstaunliche Laufleistungen erbringt, die nur noch vom Honda-Mann übertroffen werden, der anscheinend noch leistungsfähiger ist. Honda veröffentlicht allerdings keinerlei technische Details.

Warum beschäftigen sich Wissenschaftler so intensiv mit dem Laufen? Aus Sicht der Biologen steht die wissenschaftliche Neugier im Vordergrund und damit der Wunsch, komplizierte biologische Strukturen besser zu verstehen.

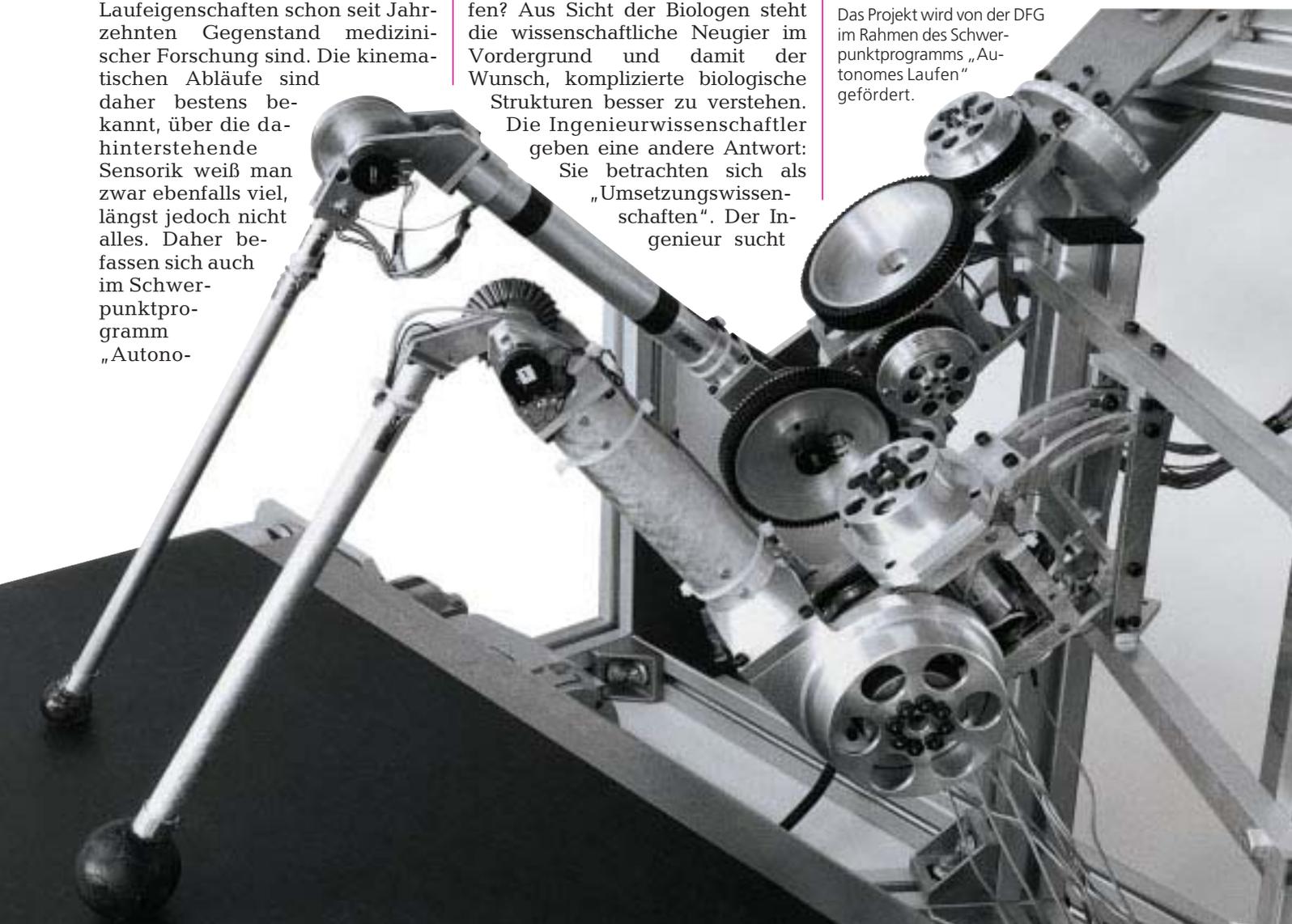
Die Ingenieurwissenschaftler geben eine andere Antwort: Sie betrachten sich als „Umsetzungswissenschaften“. Der Ingenieur sucht

in der Biologie Ideen und Anregungen für seine gestalterischen Aufgaben.

Ein weiteres Ziel, das heute bereits teilweise zur Realität gehört, ist es, Laufmaschinen in Bereichen einzusetzen, die für Menschen unzugänglich sind, etwa in chemisch oder nuklear verseuchten Gebieten, bei Feuer, für Arbeiten unter Wasser und in Rohren sowie für die Abwasser-Entsorgung. Laufmaschinen sollen einmal Routineaufgaben in Büros, Krankenhäusern oder in Haushalten übernehmen. Die beim Bau solcher Maschinen gewonnenen technologischen Kenntnisse können unmittelbar auf Prothesen übertragen werden, was japanische Projekte eindrucksvoll beweisen.

*Prof. Dr.-Ing. Friedrich Pfeiffer
Technische Universität München
Prof. Dr. Holk Cruse
Universität Bielefeld*

Das Projekt wird von der DFG im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Autonomes Laufen“ gefördert.



*Für die Anwohner ist er der „Feuerberg“,
der „Merapi“ in Zentraljava.
Um bei einem Ausbruch des Vulkans
bessere Überlebenschancen zu haben,
hoffen sie auf ein verlässliches
Frühwarnsystem*



Naturwissenschaften

Den Glutlawinen auf der Spur

Wie die Zinnen eines verwunschenen Märchenschlosses ragt der 2961 Meter hohe Merapi aus den Wolken. Er ist der rastloseste unter den insgesamt 129 aktiven Vulkanen Indonesiens: Durchschnittlich alle sieben Jahre brach er in den vergangenen 450 Jahren aus.

Am 22. November 1994 kam ein großer Teil der am Gipfel des Vulkans Merapi aufgestauten, zähflüssigen Lavabrocken ins Rutschen. Zwei Millionen Kubikmeter Gestein stürzten ins Tal. Begleitet wurde der Schuttstrom durch Druckwellen und bis zu 700 Grad Celsius heiße Aschenwolken. Ein Dorf am Fuße des Vulkans wurde zerstört, 66 Menschen starben, viele hundert erlitten schwerste Verbrennungen. In den Tagen zuvor hatten die Seismometerstationen des vulkanologischen Dienstes in Indonesien eine leichte, aber nicht ungewöhnliche Unruhe des Vulkans aufgezeichnet. Wissenschaftler und Bevölkerung waren gleichermaßen überrascht über den Ausbruch und darüber, dass die Glutlawinen nach Süden und nicht wie in den Jahren zuvor nach Südwesten flossen.

Der 2961 Meter hohe Merapi (wörtlich übersetzt: „Feuerberg“) in Zentraljava ist der rastloseste unter den 129 aktiven Vulkanen Indonesiens. In den vergangenen 450 Jahren brach er durchschnittlich alle sieben Jahre aus. Entsprechend seiner Lage im Kollisionsbereich der eurasischen und der indoaustralischen Platte gehört der Merapi zu den explosiven Vulkanen. Diesen Typus findet man überall dort, wo die starren Platten, die die äußere Haut des Erdkörpers bilden, übereinander geschoben werden. Die abtauchende Platte und der darüber liegende Mantelkeil werden bei der sogenannten „Subduktion“ in den heißen Mantel teilweise aufgeschmolzen.

Die Schmelzen beginnen aufzusteigen. Auf dem Weg nach oben verändert sich ihre chemische

Zusammensetzung, bis die Magmen bei Vulkanausbrüchen an die Erdoberfläche gelangen. Ist ein Ausfließen der zähen Lava und die ungehinderte Entgasung nicht möglich, so steigt der Druck im Innern des Vulkans, bis schließlich Teile des Vulkangebäudes in einer Explosion abgesprengt werden. Mit

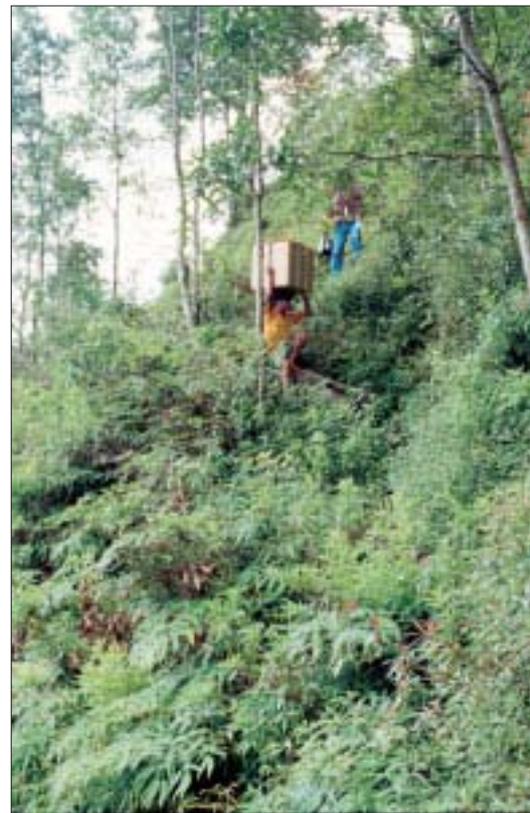
Glutlawinen des Merapi ergießen sich mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h zu Tal

den katastrophalen Ausbrüchen des Tambora (1815), des Krakatau (1883) und des Pinatubo (1991) ereigneten sich drei der fünf großen explosiven Eruptionen der letzten zwei Jahrhunderte im südostasiatischen Raum. Abgesehen von den örtlichen Verwüstungen haben Vulkanausbrüche dieser Größe

eine weltweite Klimawirkung, die in früherer Zeit Hungerkatastrophen auslöste.

Auch der Merapi wurde in der Vergangenheit durch eine große, nach Südwesten

gerichtete Explosion weitgehend zerstört. Der größte Ausbruch in historischer Zeit ereignete sich 1872. Es handelte sich um eine hochexplosive Eruption mit Bildung einer hohen Eruptionssäule. In der darauf folgenden Zeit änderte sich der vorherrschende Ausbruchsmechanismus. Heute bildet der Merapi über

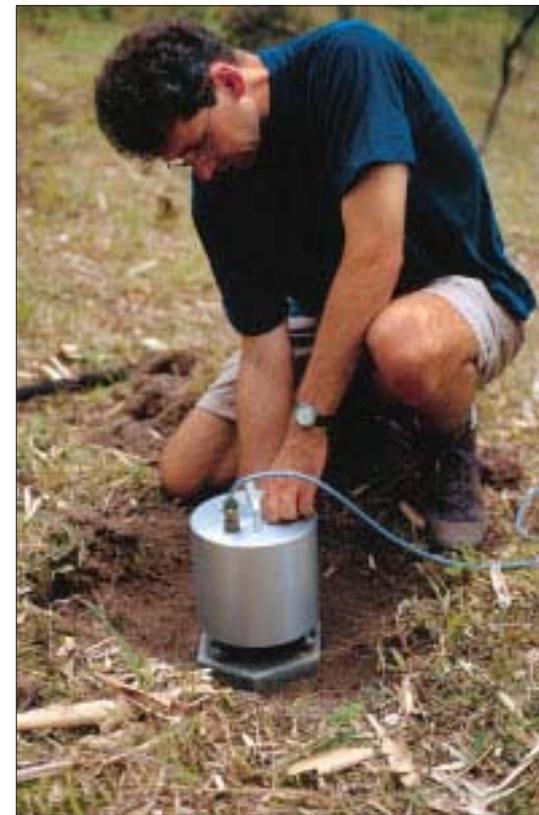




einen langen Zeitraum zunächst einen Dom, eine Kuppe aus lose aufgehäuften, teilweise erstarrten Lavabrocken, der dann plötzlich ins Rutschen gerät. Glutlawinen ergießen sich mit Geschwindigkeiten von mehr als 100 km/h zu Tal. 32 der 67 dokumentierten historischen

Temperaturmessung am Gipfel des Merapi: Über den Aktivitätszustand des Vulkans geben Zusammensetzung und Temperatur der Gase Aufschluss. Unten links: Ein Seismometer wird aufgestellt. Alle Ausrüstungsteile müssen mühsam von Trägern über die Hänge zu den Messstationen gebracht werden.

hunderts. Die damalige holländische Kolonialregierung erbaute fünf Beobachtungsstationen an den Flanken des Vulkans. Sie waren mit einem Seismographen, meteorologischen Sensoren und, in neuerer Zeit, Sensoren zur Bestimmung des Schwefeldioxid-Gehalts der vulkanischen Gaswolke ausgerüstet. Das wesentliche Element des Überwachungssystems waren jedoch Observatoren, die den Aktivitätszustand des Vulkans rund um die Uhr beobachteten und jede Veränderung weiterleiteten – und dies heute noch tun. Seit Beginn der achtziger Jahre wird das Beobachtungsnetz im Rahmen internationaler Koope-



Eruptionen des Merapi waren mit Glutlawinen verbunden – diese Häufigkeit ist für keinen anderen Vulkan in der Welt bekannt. Zur Zeit tritt dieses Phänomen durchschnittlich einmal pro Jahr auf. Aufgrund der dichten Besiedlung am Fuße des Vulkans und der landwirtschaftlichen Nutzung seiner Flanken stellen auch kleine vulkanische Ereignisse eine Bedrohung dar.

Eine systematische Überwachung des Merapi begann schon in den dreißiger Jahren des 20. Jahr-

rationen mit Forschergruppen aus Deutschland, Frankreich, den USA und Japan ausgebaut.

Das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) baut seit Mitte 1994 ein Geländeobservatorium auf, seit 1997 mit Unterstützung der DFG. Insgesamt 18 Universitäten und geowissenschaftliche Einrichtungen in Indonesien und Deutschland beteiligen sich am Projekt MERAPI (Mechanism Evaluation, Risk Assessment, Prediction Improvement), das helfen soll, vulkanologische Prozesse besser zu verstehen, Gefährdun-



Am 17. Januar 1997 stieg über dem Merapi eine mächtige Eruptionssäule auf. Trotz des bedrohlich erscheinenden Anblicks entstand kein Schaden. In der gegenwärtigen Aktivitätsphase des Vulkans stellen derartige explosiven Eruptionen die Ausnahme dar. Rechts: Am Hang des Merapi-Vulkans haben die Wissenschaftler ein Zeltlager errichtet.

gen genauer abzuschätzen und Vulkanausbrüche mittel- bis kurzfristig vorhersagen zu können.

Ein dichtes Netz aus Messstationen zeichnet die für das vulkanische Geschehen relevanten Parameter kontinuierlich auf. Die Daten werden per Funk an die Zentrale in Yogyakarta übermittelt. Die wichtigsten Aktivitätsparameter eines Vulkans sind vulkanische Erdbeben, Verformungen des Vulkangebäudes sowie Veränderungen der ausgestoßenen Gase. Ein genaueres Verständnis der Prozesse im Vulkan werden künftige Eruptionen sicherer als bisher vorhersagbar machen, aber nur, wenn die Quellen der Messsignale genau bekannt sind und vor allem durch das Wetter bedingte Störungen aus den Daten entfernt werden können.

Zu den bekanntesten seismischen Phänomenen an Vulkanen zählen gleichmäßige, lang anhaltende Vibrationen, die auch als „Tremor“ bezeichnet werden. Ihre Herkunft wird zur Zeit noch kontrovers diskutiert; als wahrscheinlichste Ursache gelten Schwingungen der Magmasäule in den Gängen und Schloten des Vulkans, ähnlich den Geräuschen in den Rohren einer Heizungsanlage. Ein anderer Typus sind Beben mit sehr komplexen Seismogrammen, die kürzlich als sehr flache Beben direkt unter dem Gipfel des Merapi identifiziert werden konnten. Sie dürften in engem Zusammenhang mit dem Wachstum des Lavadoms stehen; möglicherweise werden sie durch das Reißen der spröden Außenhaut des Doms hervorgerufen. Im vergangenen Jahr konnten Zusammensetzung und Temperatur fumarolischer Gase zum ersten Mal am Gipfel kontinuierlich bestimmt werden. Grundlage für diese Weltneuheit ist ein den rauen Be-



dingungen angepasster Gaschromatograph.

Ein elementarer Bestandteil des Projekts sind geologische Untersuchungen zur Magmenentwicklung und Eruptionsgeschichte des Merapi. In der Vergangenheit wurde der Merapi durch einen katastrophalen Ausbruch stark zerstört. Basierend

auf historischen Quellen wurde diese Eruption bisher für das Jahr 1006 angenommen und mit dem Untergang der einst blühenden hinduistischen Kultur in Zentraljava in

Verbindung gebracht. Datierungen mit Hilfe des Kohlenstoff-Isotops C^{14} lassen jedoch auf ein sehr viel höheres Alter schließen. Demnach fand dieser größte bekannte Ausbruch bereits vor ca. 6000 Jahren statt. Die bisherigen Ergebnisse sind ein Schritt in Richtung auf eine bessere Kenntnis des Merapi. Die Menschen in den Gebieten rund um den Vulkan sind allerdings weniger an seinem Mechanismus als an einer Vorhersage der Ausbrüche interessiert. Daher sollen die Experimente verstärkt in das örtliche Frühwarn-

system eingebunden werden. Bisher basiert die Frühwarnung im Wesentlichen auf der Zeitdifferenz zwischen dem Beginn einer Eruption und dem Eintreffen in den besiedelten Gebieten. Bis zu acht Minuten bleiben der Bevölkerung, um Schutzräume oder ungefährdete Gebiete zu erreichen. Jede Verlän-

gerung dieser Frist kann Menschenleben retten. In Frage kommen vor allem Absperungen oder die Evakuierung vor einer Eruption. Da die Vulkanflanken aber

nicht nur eine tödliche Gefahr, sondern in erster Linie die Lebensgrundlage der Bauern bedeuten, werden derartige Weisungen nur dann befolgt, wenn die Vorhersagen als sicher gelten.

Die Menschen interessiert weniger der Mechanismus des Merapi als eine Ausbruch-Vorhersage

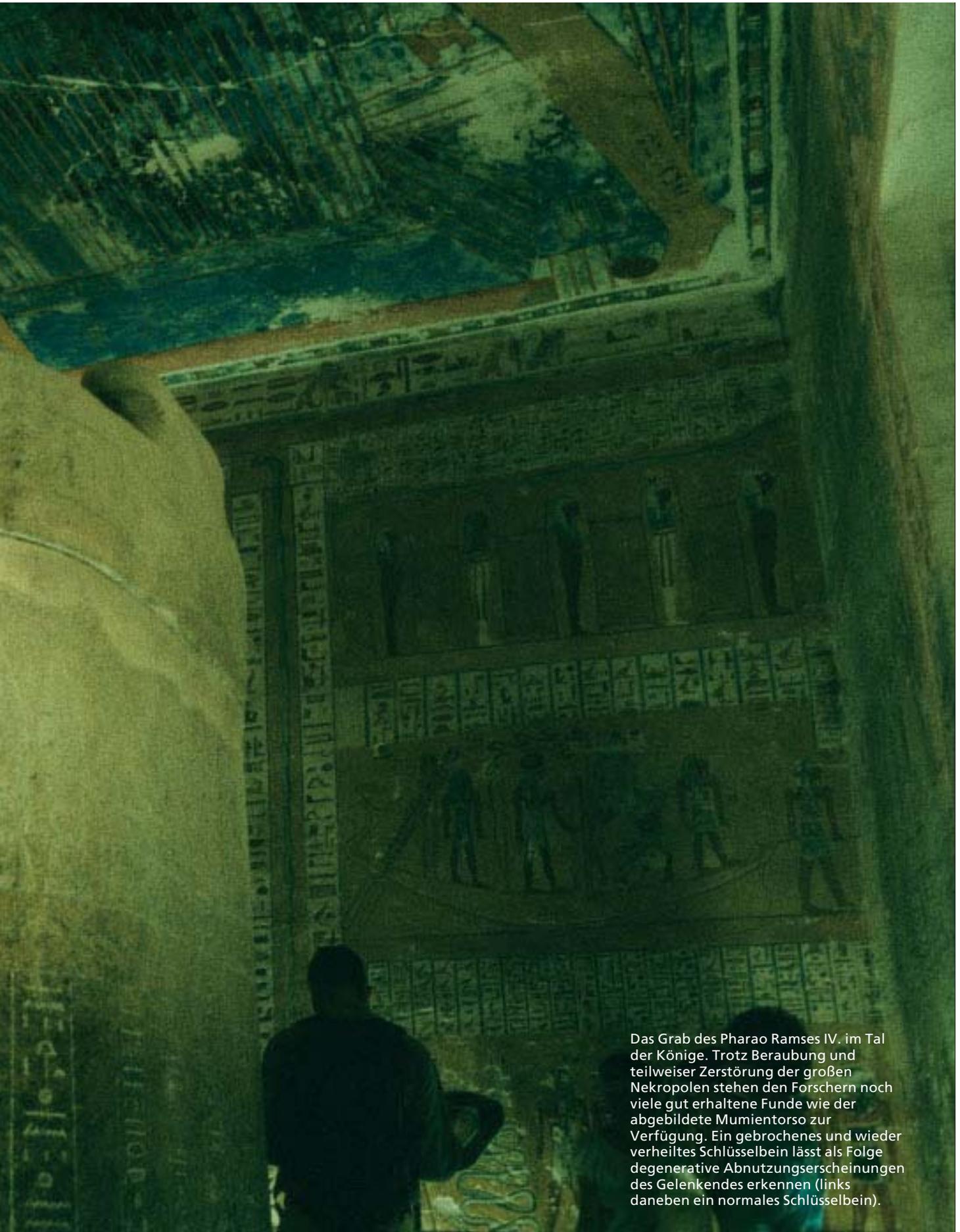
*Prof. Dr. Jochen Zschau
Dr. Malte Westerhaus
Birger-Gottfried Lühr
GeoForschungsZentrum Potsdam*

Das Gemeinschaftsvorhaben „Dekadenvulkan MERAPI, Indonesien“ wurde durch die DFG im Normalverfahren gefördert.

Leben und Sterben im alten Ägypten

Die sterblichen Überreste von Ägyptern, die vor rund dreieinhalb Jahrtausenden als Mumien konserviert wurden, lesen Fachleute heute wie Krankenakten; sie lassen weitreichende Rückschlüsse auf die damalige Gesellschaft und ihr „Gesundheitssystem“ zu





Das Grab des Pharaos Ramses IV. im Tal der Könige. Trotz Beraubung und teilweiser Zerstörung der großen Nekropolen stehen den Forschern noch viele gut erhaltene Funde wie der abgebildete Mumientorso zur Verfügung. Ein gebrochenes und wieder verheiltes Schlüsselbein lässt als Folge degenerative Abnutzungserscheinungen des Gelenkendes erkennen (links daneben ein normales Schlüsselbein).





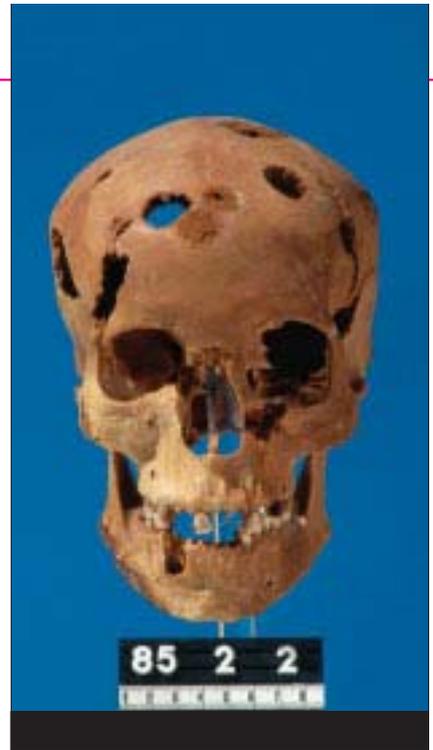
Die bisherigen Kenntnisse über das Leben alter Völker beruhen zumeist auf archäologischen Untersuchungen, vor allem der Analyse von Schriften, Bildern und Überresten von Gebäuden und Bauwerken. Hierbei werden indirekte Angaben zu den Lebensumständen und -gewohnheiten alter Kulturen erhoben, die – je nach Zeitgeist und Interpretation – erheblichen Deutungen unterliegen können. Inwieweit sie den tatsächlichen Lebensumständen entsprechen, muss offen bleiben. Einen viel direkteren Einblick erlaubt die Untersuchung menschlicher Überreste, die Aufschluss darüber geben, mit welchen Krankheiten und anderen Leiden diese Zeugen der Vergangenheit konfrontiert waren. Dabei stehen in den meisten Fällen Knochen und Zähne zur Verfügung, die einer Gewebszersetzung über größere Zeiträume verhältnismäßig gut standhalten können.

Besonders leicht haben es Forscher bei alten Völkern, von denen menschliche Körper durch natürliche Gegebenheiten (heiß-trockenes Klima) oder künstliche Maßnahmen („Balsamierung“) als Mumien konserviert erhalten sind. Hier sind in vielen Fällen Reste von inneren Organen und Weichteilgeweben vorhanden, die im Einzelfall weitgehende Aussagen möglich machen, zum Beispiel durch die Analyse von noch nachweisbaren Biomolekülen. So verdanken wir es den religiösen

Vorstellungen der alten Ägypter, dass wir heute gut erhaltene Überreste von Menschen besitzen, die vor rund 5000 Jahren gelebt haben.

Seit 1996 untersucht ein interdisziplinäres Team der Universität München die menschlichen Überreste der großen Nekropo-

len von Theben-West, Oberägypten, um herauszubekommen, wie sich die damalige Bevölkerung zusammensetzte, wie sie lebte und ob und wie häufig bestimmte Erkran-



Eingeschnitten in eine Felsenkette ist die „Nekropole der Beamten und Gelehrten“ im oberägyptischen Theben-West. Die Mumie eines etwa 35-jährigen Mannes zeigt knöcherne Veränderungen an der unteren Lendenwirbelsäule mit teilweiser Zerstörung der Vorderkante. Die computertomographische Untersuchung macht die entzündungsbedingte Knochenzerstörung deutlich. Oben: Bei dieser skelettierten Mumie einer 35 bis 45 Jahre alten Frau weist die Auflösung des Schädels auf einen bösartigen Tumor hin. Auch ein etwa 20 bis 25 Jahre alter Mann (kleines Bild, unten links) hatte eine im Körper verbreitete Knochenstörung, die auf Metastasen eines Tumors schließen lässt.

kungen auftraten. Theben war zur Zeit des „Neuen Reiches“ (ab etwa 1500 v. Chr.) Hauptstadt des Weltreiches Ägypten. Die Lage der untersuchten Grabstätten verrät, dass in ihnen insbesondere Angehörige höherer sozialer Schichten bestattet wurden, die vermutlich gut versorgt waren. Es wurde deshalb vielfach angenommen, dass die Krankheitshäufigkeit verhältnismäßig gering gewesen sei, konkrete Untersuchungen dazu fehlen jedoch bisher weitgehend. Der interdisziplinäre Ansatz ist von großer Bedeutung, da eine Interpretation der Daten vielfach nur im Kontext der ägyptologischen Beobachtungen zum Fundort, der Funddatierung und den Begleitdaten zum sozialen Umfeld der Bestatteten möglich ist. Im Einzel-

fall kann die Analyse bis hin zur Identifikation von historisch bekannten Personen und wichtigen Aspekten ihres Lebens reichen.

Die biomedizinischen Untersuchungen umfassen eine vor Ort durchgeführte detaillierte Erfassung aller auffälligen Befunde; sie wird ergänzt durch eine endoskopische Untersuchung vor allem von inneren Schädelhöhlen und durch röntgen- und computertomographische Aufnahmen ausgewählter Fundstücke. Darüber hinaus liefert die Molekularbiologie weitere Aufschlüsse über bestimmte Krankheiten. Obwohl das Wüstenklima sehr zur Konservierung der Funde beiträgt, haben die Jahrtausende, aber auch Eingriffe von Grabräubern und Tierfraß ihre Spuren hinterlassen; oft ist nur noch das

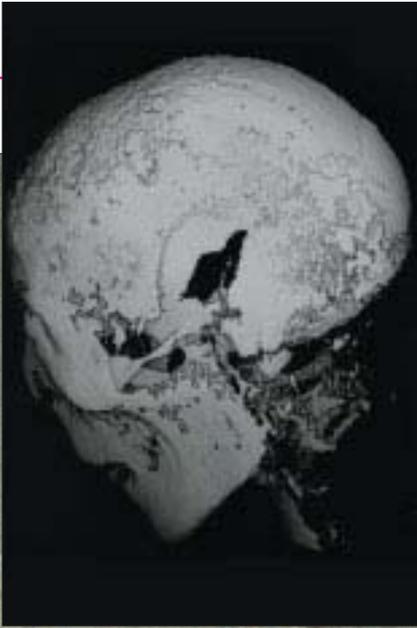
Vor 100 Jahren waren Mumienuntersuchungen „gesellschaftliche Ereignisse“ ohne großen wissenschaftlichen Wert. Der äußerlich intakte Mumienkopf dieses Mannes (kleines Bild, oben rechts) lässt keine schwere Schlagverletzung vermuten. Erst die Computertomographie zeigt einen klaffenden Defekt über dem Scheitelbein – eine Verletzung, die der Mann wahrscheinlich nur kurz überlebt hat. Unten: Ein Mangel an Knochensubstanz (Osteopenie) ist in thebanischen Mumien häufig zu beobachten (oben ein normaler, darunter ein betroffener Knochen). Eine der Ursachen kann im chronischen Vitamin-D-Mangel liegen.



Knochengewebe übrig, und das manchmal nur bruchstückhaft. Darum werden vor allem Erkrankungen erfasst, die sich an Knochen und Gelenken manifestieren.

Bislang konnten in drei größeren Grablegungen in Theben-West die Überreste von über 400 Individuen untersucht werden, davon haben Kinder und Heranwachsende mit 90 Individuen einen Anteil von rund 22 Prozent. Diese Sterblichkeitsrate von Kindern ist sehr niedrig, lag sie doch zu Beginn unseres Jahrhunderts in Ägypten bei rund 60 Prozent! Man muss jedoch berücksichtigen, dass es spezielle Kinderfriedhöfe und Kinderbestattungen innerhalb von Siedlungen gegeben haben könnte. Das allgemeine Sterbealter der untersuchten Bevölkerungsgruppe zeigte ein Maximum zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr mit einer „Schulter“ bis etwa zum 40. Jahr, also für eine Hauptstadt-Bevölkerung mit vermutlich ausreichender Versorgungslage eine vergleichsweise niedrige Lebenserwartung. Eine ähnliche Verteilung des Sterbealters wird übrigens auch für die sozial höchste Schicht des alten Ägyptens, die Pharaonen, angenommen, wie frühere Untersuchungen an den Königsmumien, die sich heute im Museum von Kairo befinden, nahe legten. Grund hierfür könnten zahlreiche Infektionserkrankungen sein, für die es Indizien gibt. Erstaunlich hoch ist die Rate an Krankheitsbefunden verschiedenster Art. So finden sich zahlreiche alte Knochenfrakturen, die zumindest einige Zeit überlebt worden waren, aber auch die Folgen von Karies, deren Ausbreitung durch starke Abkautung an den Zähnen begünstigt wurde, für die vermutlich Sandbeimengungen in der Nahrung verantwortlich waren. Erstaunlich häufig finden sich Knochenveränderungen als Zeichen für chronische Blutarmut, Blutbildungsstörungen, Vitamin-C- („Skorbut“) und Vitamin-D-Mangel („Rachitis“) – zahlreiche Hinweise für einen eher schlechten Gesundheitszustand. Gelenk-Abnutzungen (Arthrose) und degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule zeugen von chronischer Fehl- und Überbelastung durch erhebliche





körperliche Belastungen. Die Entdeckung maligner Tumoren, speziell am Knochen, belegt nicht nur, dass es bösartige Tumoren in der damaligen Bevölkerung gab, sondern lässt auch erkennen, dass die Häufigkeit solcher Krebsgeschwüre in der damaligen Bevölkerung nur wenig unter der heutiger Populationen mit gleichem Alters- und Geschlechtsspektrum gelegen hat.

Bei den Untersuchungen wurden in Einzelfällen auch Hinweise auf soziale Pflege, Fürsorge und medizinische Krankheitsbehandlung gefunden. Beispielsweise zeigte der Schädel eines älteren Mannes die Folgen einer schweren, jedoch längere Zeit überlebten Mittelgesichtsfraktur. Die Tatsache, dass dieses Individuum diese massive Verletzung für lange Zeit überleben konnte, deutet auf besondere Pflege hin, zum Beispiel durch eine spezielle Ernährung. Ein weiteres Beispiel für einen konkreten medizinischen Eingriff ist ein Mumien Schädel, unter dessen geschlossenen Binden ein größerer Defekt des linken Scheitelbeines festgestellt werden konnte. Form und Ausrichtung der Verletzung sind typisch für eine schwere Schlagverletzung. Dass die über dem Defekt liegende Haut und die Binden intakt sind, deutet auf eine „therapeutische“ Entnahme der bei der Verletzung entstandenen Knochenfragmente, also auf einen frühen „chirurgischen“ Eingriff.

Bei der Aufdeckung krankhafter Veränderungen halfen spezielle Techniken der Molekularbiologie, ansonsten nicht fassbare Erkrankungen zu diagnostizieren. So gelang der Nachweis der Erbsubstanz bestimmter Bakterien, die Erreger typischer Krankheitsbilder sind, darunter die bislang ältesten Fälle molekular belegter Tuberkulose. Tuberkulose war im alten Ägypten wohl wesentlich häufiger als bislang vermutet und möglicherweise (mit-)verantwortlich für die niedrige Lebenserwartung.

*Prof. Dr. Andreas Nerlich
Universität München*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

De



Blick in das Großkammer-Rasterelektronenmikroskop des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie in Aachen. Hier werden winzige Bauteile – zum Beispiel Zahnräder – zu Mikrosystemen zusammengefügt (kleines Bild).

r Blick in eine andere Welt

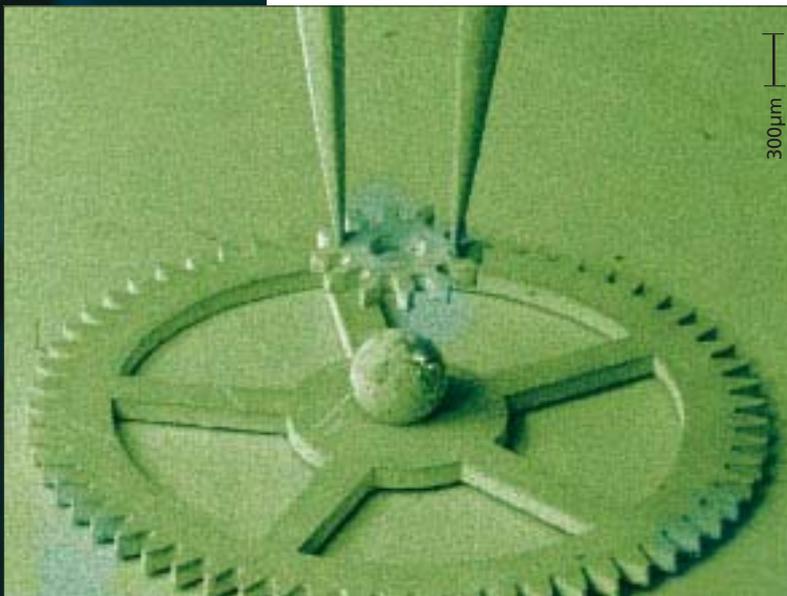
Die Mikrosystemtechnik birgt ein großes Potenzial für neue Produkte in Medizin, Analytik und Elektronik – ein in Aachen angesiedelter Sonderforschungsbereich untersucht die Grundlagen dafür

Grundlagen für die Herstellung von Mikrosystemen in hybrider, das heißt gemischter Bauweise zu schaffen – dies ist das Ziel der grundlagenorientierten Forschungsarbeiten des 1997 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen eingerichteten Sonderforschungsbereichs „Montage hybrider Mikrosysteme“. Fünf Institute der RWTH Aachen sowie zwei Fraunhofer-Institute aus Aachen beschäftigen sich in enger Zusammenarbeit mit der Handhabung und Fügetechnik von Mikrokomponenten. Diese Mi-

krokomponenten sind im Detail nur noch mit optischen Hilfsmitteln zu sehen. Betrachtet man die aus verschiedenen kleinen Einzelkomponenten bestehenden Mikrosysteme, wird die Problematik sofort erkennbar: Wie lassen sich die winzigen Bauteile handhaben und zu einem Gesamtbauteil montieren und fügen?

Die Handhabung erfolgt im einfachsten Fall mit Hilfe von Lupe und Pinzette. Damit sind die beiden Hauptaufgaben in diesem Prozess schon beschrieben: das Bewegen und Positionieren der winzigen Teile sowie die Beobachtung und Überwachung dieses Prozesses. Dazu sind verschiedene Geräte notwendig, von denen eines der wichtigsten Werkzeuge der Greifer ist. Wegen der geringen Größe von Mikrosystemen darf ein Greifer nicht wesentlich größer sein als die Bauteile. Die Greiferspitzen sollten also nur wenige Mikrometer dick und breit sein. Nur so lassen sich selbst schwierige Montagepositionen erreichen.

Physikalische Eigenschaften wirken sich im Mikrobereich häufig anders aus oder führen zu anderen Effekten, als sie aus der „Makrowelt“ bekannt sind. Beispielsweise ist das Verhalten von Handhabungsobjekten gewöhnlich hauptsächlich durch ihr Gewicht bestimmt. Die Gewichtskraft nimmt 29

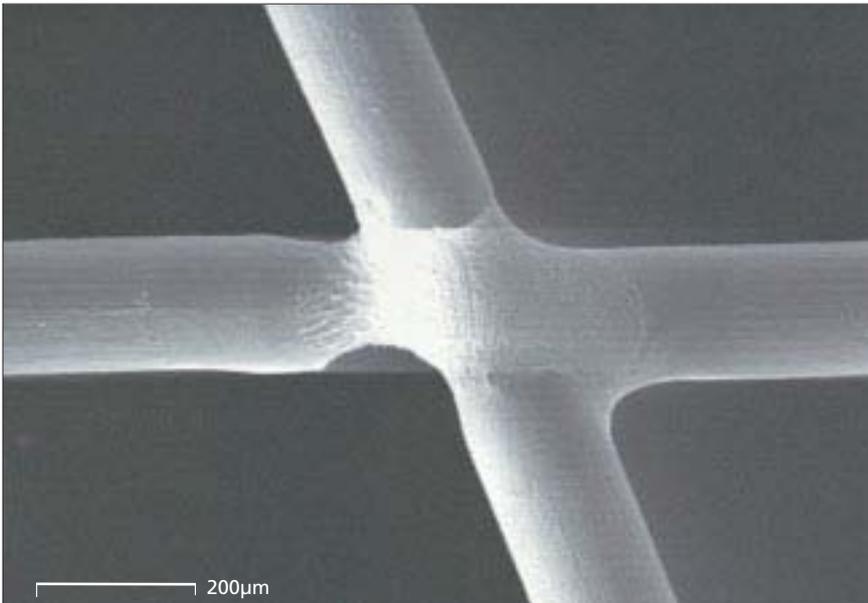


jedoch mit der dritten Potenz der Abmessungen ab, während die Oberflächenkräfte nur mit der zweiten Potenz abnehmen. Die Folge kann sein, daß sich die gefassten Mikroobjekte bei Öffnen des Greifers nicht mehr lösen, sondern an ihm haften bleiben. Für die Mikro-

haben sich Piezo-Elemente, die ihre Länge proportional zu einer anliegenden Spannung ändern und somit unendlich feine Stellbewegungen ermöglichen. Bauteile der Mikrosystemtechnik weisen im Gegensatz zu Bauteilen der Mikroelektronik unterschiedliche Formen

halb wesentlich höher als bisher. Der Greifer muss zum Beispiel in seiner maximalen Greifweite und der Gestaltung der Greiferspitzen darauf abgestimmt sein. Einen Universalgreifer, der alle Bauteile der Mikrosystemtechnik fassen kann, wird es sicherlich nicht geben.

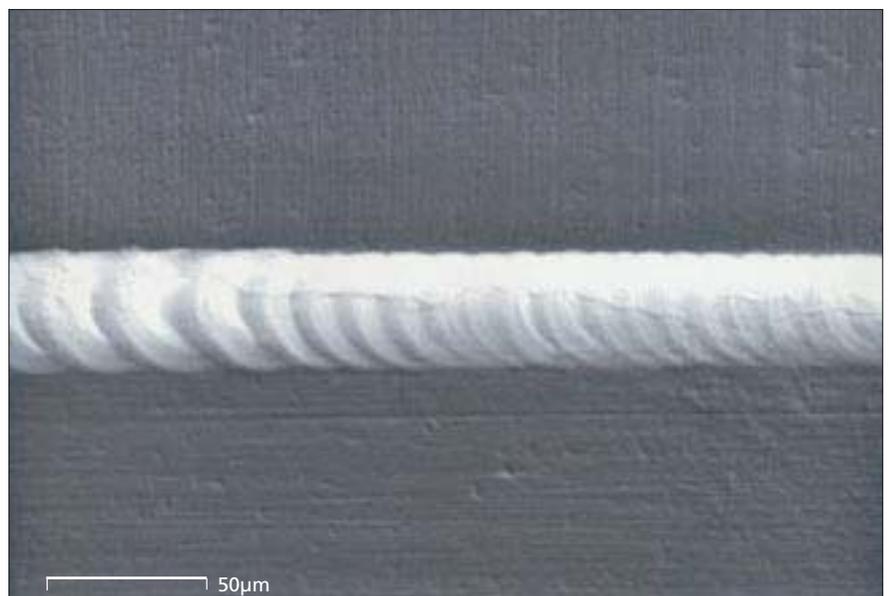
Eine attraktive Möglichkeit zur Prozessüberwachung bietet die Montage im Rasterelektronenmikroskop (REM). Im Vergleich zu Lichtmikroskopen erzielen solche Geräte wesentlich höhere Vergrößerungen (bis 300.000fach). Der entscheidende Vorteil für die Mikromontage liegt allerdings eher in der viel größeren Tiefenschärfe. Ein Bauteil wird nicht nur in einer be-



Nur 175 Mikrometer sind die Stahldrähte dick, die im Rasterelektronenmikroskop zusammengeschweißt wurden (oben). Kleines Bild: Bei der Handhabung der winzigen Bauteile hilft ein mechanischer Greifer. Rechts: eine Mikro-Schweißnaht.

montage bedeutet dies, dass spezielle Montageverfahren gefunden werden müssen, um dies zu umgehen. Ein Ansatz besteht darin, die Bauteile im positionierten Zustand, während sie noch vom Greifer gehalten werden, mit anderen Bauteilen zu verbinden.

Die geringe Größe von Mikrobauteilen bringt weitere Herausforderungen mit sich. So sind die am Objekt zur Verfügung stehenden Greifflächen ebenfalls sehr klein. Beim Greifen kann dies zu sehr großen Flächenpressungen führen, die die maximal zulässigen Belastungen einiger Werkstoffe deutlich übersteigen können. Um Beschädigungen zu vermeiden, ist die Wahl des Greifantriebs von entscheidender Bedeutung. Besonders bewährt



auf. Insbesondere umfasst ihr Größenspektrum mehrere Zehnerpotenzen, zum Beispiel Bauteile im Mikrometerbereich sowie Bauteile im Millimeterbereich. Die Forderungen, die an die Größen-Anpassungsfähigkeit der Montageeinrichtung gestellt werden, sind des-

stimmten Ebene scharf abgebildet, sondern ist über seine ganze Tiefenausdehnung hinweg zu erkennen. Die Bilder weisen dadurch eine nahezu dreidimensionale Plastizität auf.

Wegen der hohen Investitionskosten spielt diese Prozessbeobach-



tion in industriellen Produktionsprozessen kaum eine Rolle. Das REM bietet jedoch als Forschungsmittel unübertroffene Möglichkeiten, die Vorgänge bei der Mikro- montage zu beobachten. Um zu einer kostengünstigen Beobachtungsmöglichkeit zu gelangen, besteht ein weiterer Ansatz darin, ein Endoskop in den Greifer zu integrieren. Dadurch ist es möglich, direkt zwischen die Greiferbacken zu blicken. Ein erster Prototyp ist bereits verwirklicht worden. Zusätzlich lässt sich eine Laseroptik integrieren, mit der positionierte Bauteile an Ort und Stelle verlötet werden können. Die winzigen Bauteile müssen nicht nur mit Hilfe von Greifern bewegt und positioniert, sondern in den meisten Fällen auch miteinander verbunden werden. Oftmals werden elektrische, optische und mechanische Komponenten

Elektrische, optische und mechanische Komponenten werden zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt.

ten unterschiedlicher Materialien zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt. Dies stellt eine große Herausforderung dar.

Unter anderem werden das Schweißen von Kunststoffen, das Kunststoff-Montagespritzgießen, das Mikrolöten, das Mikroelektronenstrahlschweißen und das Laser-

strahlschweißen und -löten untersucht. Eine weitere Fügetechnik ist die Klebtechnik. Klebstoffe erfüllen neben der reinen mechanischen Fixierung oftmals

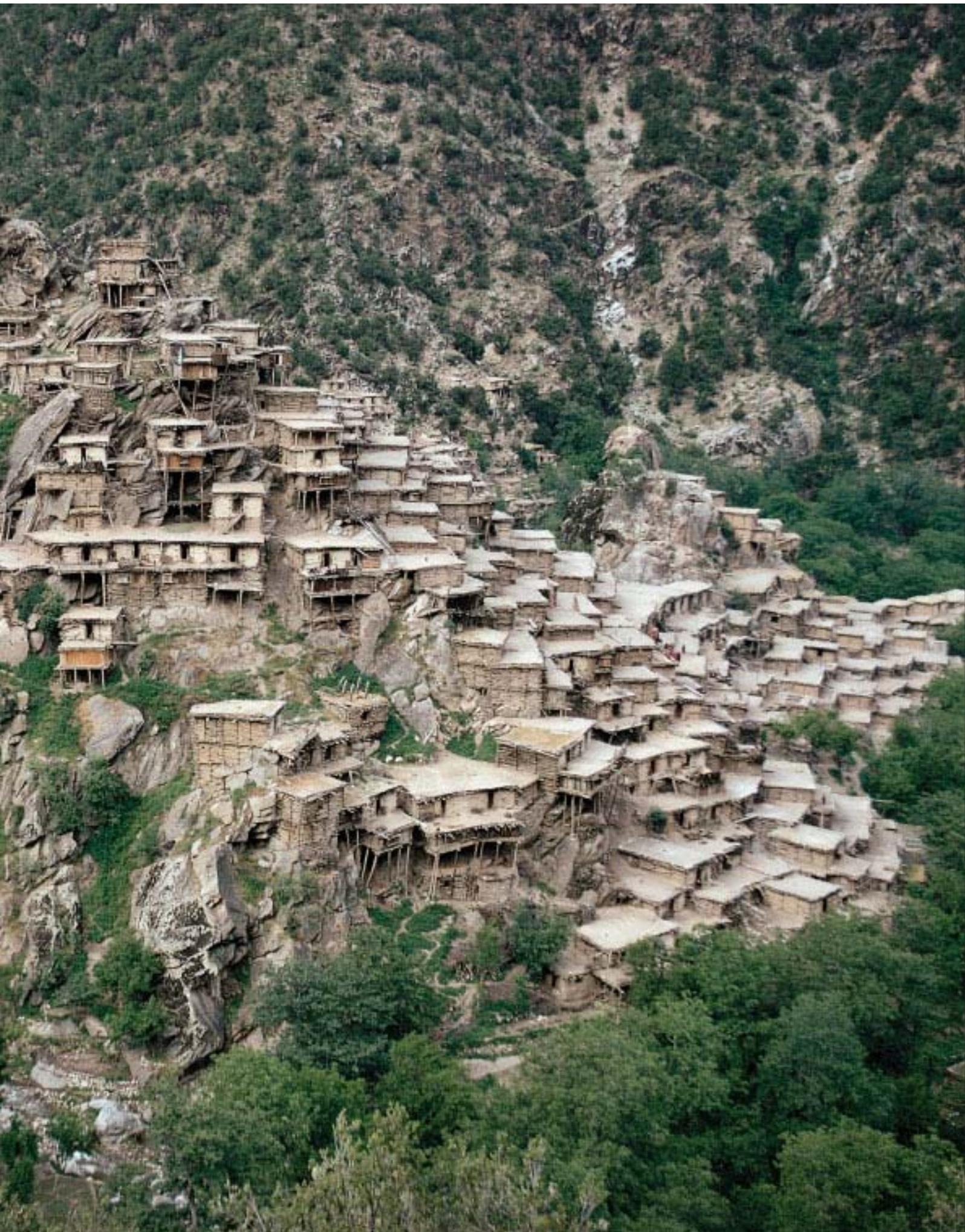
noch zusätzliche Funktionen, wie die Abdichtung gegen Flüssigkeiten oder Gase. Das Mikroelektronenstrahlschweißen ist eine neue Fügemethode. Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten wurde ein herkömmliches Raster- elektronenmikroskop so modifiziert, dass ein Elektronenstrahlschweißen mit kleinem Strahldurchmesser und hoher Leistungs-

Kleinste Klebstofftropfen wurden in einem regelmäßigen Raster auf eine Glasoberfläche aufgebracht. Ihr Volumen beträgt nur 1,5 milliardstel Liter.

dichte möglich ist. Neben der Möglichkeit des Mikroschweißens bietet das REM den Vorteil der Beobachtungsmöglichkeit. Gleichzeitiges Beobachten und Schweißen ist zwar nicht möglich, jedoch kann die Positionierung der Füge- teile kontrolliert und die Füge- verbindung nach dem Schweißvorgang angezeigt und vermessen werden.

*Prof. Dr.-Ing. Ulrich Dilthey
Dr.-Ing. Annette Brandenburg
RWTH Aachen
Prof. Dr.-Ing. Manfred Weck
Dipl.-Ing. Bernd Petersen
Fraunhofer-Institut
Produktionstechnologie, Aachen*

Das Projekt wird von der DFG im Sonderforschungsbereich 440 „Montage hybrider Mikrosysteme“ gefördert.



Afghanistan: Die Kultur der Kafiren

Bei ihren islamischen Nachbarn standen sie im Ruf wilder Götzenverehrer, die nach dem Leben möglichst vieler „rechtgläubiger“ Muslime trachteten: die Kafiren des Hindukusch

Bis vor mehr als hundert Jahren war es den so genannten Kafiren im Nordosten Afghanistans gelungen, ihren uralten Glaubensvorstellungen und „primitiven“ Traditionen treu zu bleiben. Sie lebten verschanzt in den engen und bewaldeten Hochtälern südlich des Hindukusch im Nordosten Afghanistans. Ihre waldreichen Wohngebiete



lagen abseits der wichtigen Verbindungswege zwischen Zentralasien und Indien. Bei ihren islamischen Nachbarn, die sie als „Heiden“ – arabisch kafir – bezeichneten, hatten sie den Ruf von wilden Götzenverehrer, die nach dem Leben möglichst vieler rechtgläubiger Muslime trachteten. Im Winter 1895/96 bereiteten schließlich die Truppen des Emirs von Afghanistan ihrer alten Kultur ein Ende. Sie wurden zwangsislamisiert und zu „Nuristanis“ umbenannt, zu Bewohnern der Landschaft Nuristan („Land des Lichts“). Damit wurde eine grausame, aber facettenreiche „Primitivkultur“ mit ihren vielen Götter- und Ahnenfiguren ausgelöscht. Einunddreißig jener Figuren wurden 1896 oder bald danach als „Trophäen“ an den Hof in Kabul gebracht. Viele von ihnen landeten im Museum von

Links: Wie mit dem Gebirgsrücken verwachsen, fügen sich die Terrassen des Dorfes Nischeigram im Waigal-Tal in die umgebende Landschaft ein. Oben: Zwei alte Nuristanis, Nachkommen der Kafiren, aus Wama im Petsch-Tal, genossen hohes Ansehen. Als wichtige Informanten unterstützten sie das Forschungsprojekt.

Kabul, einige im Musée Guimet in Paris. Die Figuren in Kabul haben die Kriegswirren der vergangenen Jahre und die Zerstörungswut der Taliban zum großen Teil überlebt.

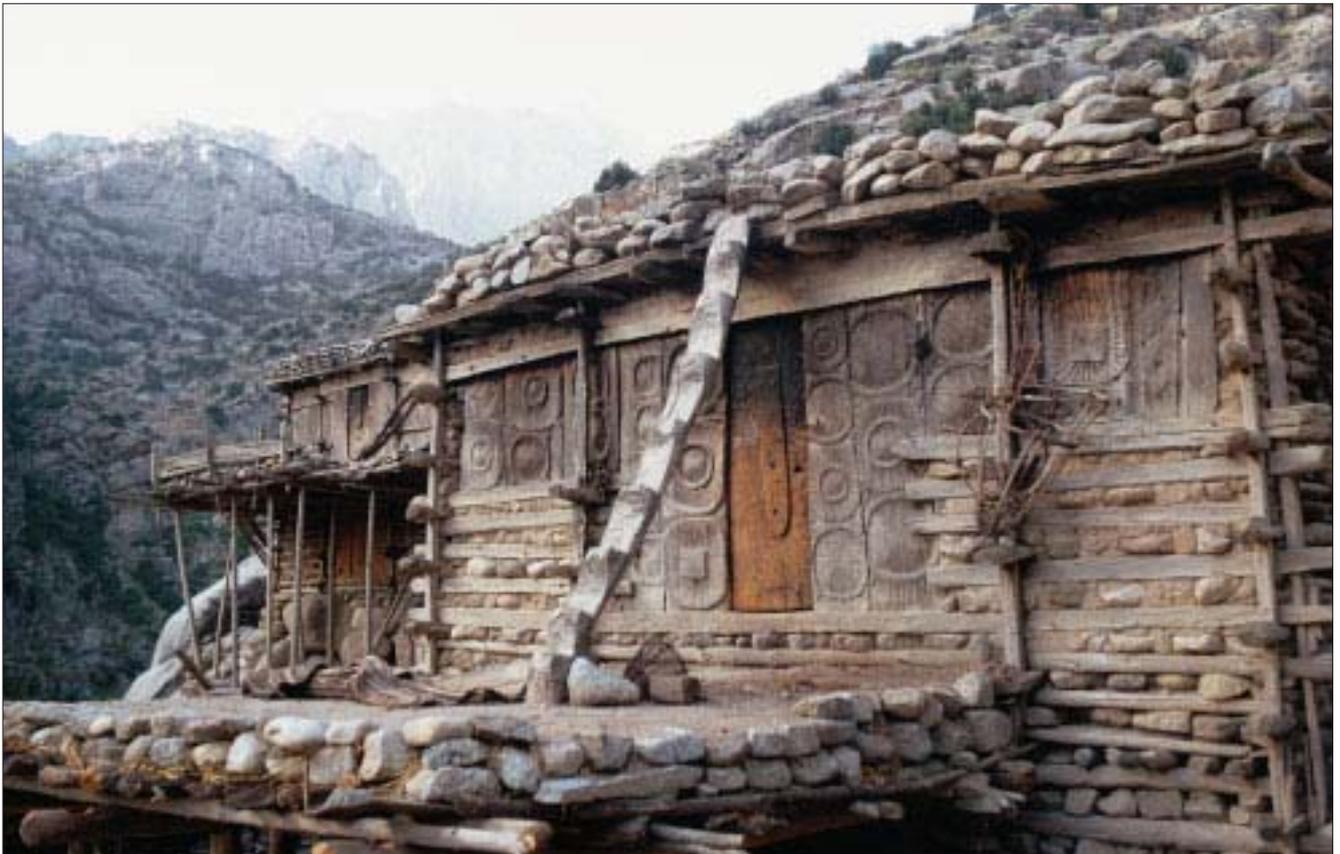
Im schicksalsreichen Jahr 1896 erschien das berühmte Werk „The Kafirs of the Hindu-Kush“ des britischen Arztes Sir George Scott Robertson. Von September 1890 bis Oktober 1891 hatte er sich im Auftrag der britisch-indischen Regie-

rung unter den im Osten lebenden Kati-Kafiren aufgehalten und einen eingehenden Bericht verfasst. Als bislang einzige vorhandene Beschreibung der Kafiren durch einen Augenzeugen wurde das Buch ein großer Erfolg. In der Folgezeit ließen die afghanischen Machthaber Forschungsreisen nach Nuristan nicht mehr zu. Erst 1935 konnte

eine Hindukusch-Expedition der Deutschen Forschungsgemeinschaft die Region wieder bereisen. Nach dem Zweiten Weltkrieg setzten dann gezielte Feldforschungen ein.

Die kulturellen Eigenheiten der Kafiren, von den Sprachen und Glaubensvorstellungen bis zu den einzelnen Bau- und Siedlungsformen waren in ihren regionalen Ausprägungen ausgesprochen eigenwillig. Allgemein waren ein Vielgötterglauben, strikte Reinheitsgebote sowie ein hochentwickeltes Festwesen, oft verbunden mit einem heroisierten Kriegertum mit Aspekten der Kopfjagd.

Gemäß den fünf lokalen Sprachen, von denen vier als altertümliche indo-iranische Idiome gelten, gab es fünf regionale Ausprägungen der Kafiren-Kultur. Es sind dies



die Kulturen der Waigali- und Ashkun-Sprecher im Süden der Region sowie jene der Kati-Sprecher im Nordwesten und Nordosten. Zwischen diesen ist die kleine Kultur der Parun-Kafiren angesiedelt. Eine weitere kleine Kafiren-Kultur ist jene der Kalascha, die eine nordwestindische Sprache sprechen. In Chitral im Nordwesten Pakistans beheimatet, entkam dieses Volk der Zwangsislamisierung und konnte sich seine kafirische Kultur bis heute bewahren.

Robertson beschrieb detailliert nur die östliche Kati-Kultur, im Baschgal-Tal nahe der afghanisch-pakistanischen Grenze gelegen. Die westliche Kati-Kultur blieb bis zuletzt unerforscht. Die Parun-Kafiren wurden von Robertson nur kurz besucht. Wichtige Aspekte ihrer Kultur konnten aber in den letzten Jahrzehnten dokumentiert werden. Die Kulturen der Waigal- und Ashkun-Kafiren waren bis vor kurzem kaum bekannt.

34 Unter den kafirischen Regional-kulturen sticht jene von Parun hervor, da sie in besonderem Maße reli-



Ein Haus im Dorf Gurtscheilam im Ashkun-Gebiet. Links: Die menschenähnliche Bekrönung eines Triumphpfostens „verewigt“ den Ruhm eines „großen Mannes“. Oben rechts: Das Dorf Dewa im Parun-Tal. In dieses Tal zogen Pilger aus allen Regionen Kafiristans. Rechts: Ein angesehenes altes Ehepaar in Nischeigram sitzt so auf einem Brett, wie früher die Vorfahren auf einer Kafirischen „Ehrenbank“ saßen.

giös geprägt war. Inmitten des kleinen Parun-Tals stand einst der mächtige, dem Gott Mara geweihte Haupttempel, das Pilgerzentrum von ganz Kafiristan. Überdies gab es zahlreiche kleinere Dorf- und Sippentempel sowie Versammlungsräume, deren Pfosten mit Götterfiguren beschnitzt waren. Das ursprüngliche Dekor einiger jener Bauten blieb überraschenderweise bis in die siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts erhalten, wie der Autor entdecken konnte. Zahlreiche freistehende Götterfiguren dienten als Kultobjekte. Stets sitzen die Gottheiten auf Ziegen oder Schemeln – nur der Obergott Mara



wurde zu Pferd dargestellt. Den Figuren sind oft riesige schildartig gestaltete Köpfe gemein, die sie recht bizarr erscheinen lassen.

Die Waigal- und Ashkun-Kafiren hingegen kümmerten sich weniger um religiöse Riten, die im Allgemeinen Ziegenopfer einschlossen. Sie waren primär auf sozialen Status ausgerichtet und übertrafen einander mit großen Festen und kriegerischen Taten. Bei den Waigal-Kafiren war der soziale Aufstieg mit großen Auflagen verbunden, während man sich im Ashkun-Gebiet leichter damit tat. Erfolgreiche „große Männer“ verkündeten ihre eigenen Verdienste in Form von baumhohen Triumphpfählen. Diese wurden mit stereotypen menschlichen Darstellungen bekrönt und seitlich mit eingeschlagenen Pflöcken bestückt, die Aufschluss über die Zahl der Getöteten gaben. Darüber hinaus ließen sie sich Triumphttore, Sitzbänke und Grabhäuser errichten und die Fassade sowie das Innere ihrer Häuser reich beschnitzen. Vor allem die üblichen vier Stützpfeiler um die Feuerstelle 35



In einem kafirischen Haus war die offene Feuerstelle Mittelpunkt des familiären Lebens. Schnitzmotive an den Pfosten führten die gehobene Stellung des Hausbesitzers vor Augen.

und die Rückwand des Hauses dienten dazu, Motive zur Schau zu stellen, die den Verdienstrang des Auftraggebers anzeigten. Als Prestigeobjekte besaß man zudem Ehrenstühle mit zwei Lehnen, schmiedeeiserne Tisch- und Fackelständer sowie silberne Weinpokale.

Die Kati-Kultur im Osten des Gebiets manifestierte Macht und Besitz auf andere Weise. Hier suchten die Häuser eher durch Größe und reichen Schnitzdekor als durch rangspezifische Motive zu beeindrucken. Eine besondere Stellung nahmen Ahnendarstellungen ein, die Reichtum, Familientradition und eine gefestigte soziale Stellung bekundeten. Große Ansammlungen von lebensgroßen Ahnenfiguren, stehend und sitzend dargestellt, „bevölkerten“ einst den Rand der Friedhöfe. Unter ihnen fanden sich auch männliche Reiterfiguren, gelegentlich auf zwei Pferden reitend. Die Waigal- und Ashkun-Kulturen kannten demgegenüber keine Ahnenfiguren. Sozialer Status ging bei ihnen so leicht verloren, dass sich eine Ahnenkultur wie bei den

Kati-Kafiren nicht entwickelt hatte. Als besondere Eigenheit der Ashkun-Kulturen gelten die über 60 Zentimeter großen Darstellungen ineinander verschränkter „Liebespaare“, die kleinere Pfosten bekroneten. Vermutlich handelt es sich bei diesen um Teile von Ehrenbänken, die dazu dienten, auch der



Dieses „Liebespaar“ bekronete einst den Pfosten einer Ehrenbank im Ashkun-Gebiet.

verdienten Frau einen Platz neben ihrem „großen Mann“ zu schaffen.

In den Figurenpaaren wird die einst sehr präzente kafirische Sexualsymbolik lebendig. Sie entsprang Anschauungen, die die ganze Welt als beseeltes System in Gegensätze von „männlich“ versus „weiblich“ und „rein“ versus „unrein“ unterteilten. Jeden sozialen wie materiellen Erfolg schrieben die Kafiren dem Zusammenwirken dieser Teilwelten beziehungsweise der Beachtung der Reinheitsgebote zu. Bis heute können sich nur Männer der Viehzucht annehmen und mit den Tieren, vor allem Ziegen, auf die Hochalmen ziehen, in die Welt der als besonders rein und sexuell potent eingestuften heimischen Schraubenziege. Frauen hingegen obliegt bis heute die Landwirtschaft. Regelmäßig waren sie dem Stigma der Unreinheit ausgesetzt und mussten sich in abseits gelegene Menstruations- und Geburtshäuser zurückziehen. Als grundsätzlich „unrein“ galten darüber hinaus die sklavenartig gehaltenen Handwerker, die bari, die vom Dorfgeschehen weitgehend ferngehalten wurden. Nur die Parun-Kafiren waren selbst handwerklich tätig. So wurden die großartigen kulturellen Objekte der Kafiren mit Ausnahme der Schöpfungen der Paruni von „unreinen“ Handwerkern geschaffen. Nach den mit der Islamisierung einhergehenden Zerstörungen und Jahrzehnten des Verkaufs und mutwilliger Beseitigung sind nur noch wenige dieser Zeugnisse in Nuristan erhalten.

*Dr. Max Klimburg
Universität Wien/Museum
für Völkerkunde München*

Max Klimburg war Mitarbeiter in dem von der DFG im Normalverfahren unterstützten Projekt von Prof. Dr. Walter Raunig, München, zur Erforschung der Parun-Kultur. Vgl. auch: *The Kafirs of the Hindu Kush – Art and Society of the Waigal and Ashkun Kafirs*, Steiner Verlag, Stuttgart 1999.

Auf den Computerschirmen in Hermann Aberles Labor leuchtet es grün. Was aussieht wie Großaufnahmen von Grashalmen ist eine kleine Revolution in der Genforschung: Mit Hilfe eines aus Algen gewonnenen Eiweißmoleküls, dem Green Fluorescent Protein (GFP), können Nervenbahnen im lebenden Organismus grün eingefärbt und dadurch Proteine in der lebenden Zelle erstmals sichtbar gemacht werden. Das Verfahren wurde Anfang der 90er Jahre in den USA entwickelt und wird seither auf vielen Gebieten der Genforschung eingesetzt. Der ehemalige DFG-Stipendiat Hermann Aberle, seit einem

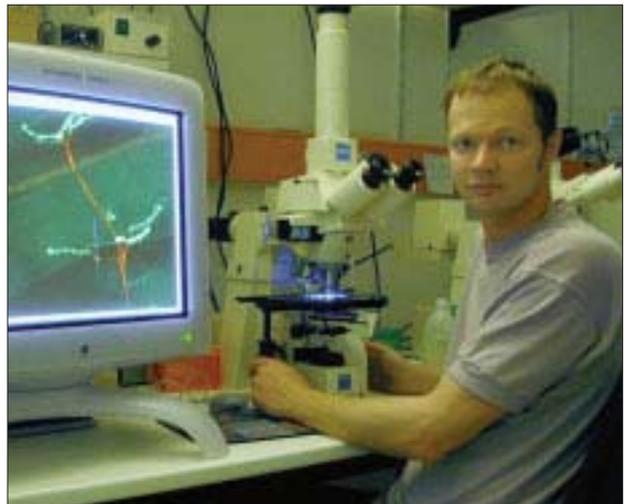
es ihm gelungen, mehrere Gene zu identifizieren, die das Wachstum und die Struktur der Synapsen beeinflussen. Das langfristige Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob die homologen Gene auch bei strukturellen Veränderungen von Synapsen im Säugetiergehirn beteiligt sind. Diese Erkenntnisse könnten helfen, bestimmte Vorgänge im Gehirn, beispielsweise Lernprozesse, besser zu verstehen.

Hermann Aberle, der 1997 bei Rolf Kemler am Max-Planck-Institut für Immunbiologie in Freiburg promovierte, hat diese Arbeiten vor vier Jahren im renommierten Labor von C.S. Goodman an der University

re auch für den wissenschaftlichen Nachwuchs: „Als unabhängiger Assistent Professor hat man schon früh die Möglichkeit, eigenständig und eigenverantwortlich zu arbeiten. Auch die Bereitschaft, Forschungsprojekte mit Drittmitteln zu fördern, ist in den USA viel größer.“ Für Hermann Aberle wäre eine weitere Tätigkeit in den USA durchaus eine Option gewesen. Deutsche Postdocs seien an den Labors der amerikanischen Universitäten gerne gesehen, da sie als sehr gut ausgebildet gelten. Die Entscheidung, nach Deutschland zurückzukehren und hier seine Karriere fortzusetzen, fiel dem 37-jährigen jedoch nicht

Nach Deutschland der Karriere wegen

Der Entwicklungsbiologe Hermann Aberle leitet nach seiner Rückkehr aus den USA eine Arbeitsgruppe am MPI in Tübingen



halben Jahr Leiter einer unabhängigen Arbeitsgruppe im Labor von Christiane Nüsslein-Volhard am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen, hat dieses Verfahren nun weiter entwickelt: Er hat ein GFP-Molekül hergestellt, das im Muskelgewebe der Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*) ganz spezifisch nur die Synapsen, also die Kontaktstellen zwischen Nerven- und Muskelzellen markiert. Diese Markierung ermöglicht es ihm, strukturelle Veränderungen in Synapsen zu identifizieren und diese Mutationen genetisch zu analysieren. In einer systematischen Suche nach Mutanten ist

of California in Berkeley begonnen und führt sie jetzt in Deutschland fort. Wie viele junge Forscherinnen und Forscher entschied sich der Otto-Hahn-Preisträger nach Abschluss der Promotion, an eine Spitzenhochschule in die USA zu gehen und dort den Grundstein für die wissenschaftliche Karriere zu legen. Mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Berkeley arbeitete Aberle in Kalifornien dreieinhalb Jahre in einem internationalen Laborteam. Die Arbeitsbedingungen für Forscher in den USA hält der Biologe für ausgezeichnet, insbesonde-

schwer: „Die Arbeit im Goodman-Labor war sehr produktiv, aber auch in Deutschland gibt es gute Bedingungen für eine wissenschaftliche Laufbahn.“

Unter mehreren attraktiven Angeboten entschied sich Hermann Aberle für das Tübinger Max-Planck-Institut, wo er momentan eine Arbeitsgruppe aufbaut. Mit einem Diplomanden, zwei Doktoranden und einem Biologisch-Technischen Assistenten wird er in den nächsten fünf Jahren die begonnenen Untersuchungen an *Drosophila*-Mutanten fortsetzen.

Jutta Rateike



Sieben Millionen Quadratkilometer der arktischen Meeresoberfläche sind ständig vom Eis bedeckt. Nur mit Hilfe eines Forschungseisbrechers wie der „Polarstern“ ist es möglich, diesen schwer zugänglichen Lebensraum zu erkunden.

Unter der „kalten Haut“

Das arktische Meereis ist der Lebensraum einer erstaunlich vielfältigen Pflanzen- und Tierwelt. Diese Lebensgemeinschaften üben eine folgenreiche Wirkung auf das polare Ökosystem aus



Eisige Kälte, gewaltige Eisschilde auf den Kontinenten und eine die Schifffahrt behindernde Eisdecke auf dem Meer: Auf den ersten Blick erscheinen uns die polaren Meere ganz und gar lebensfeindlich.

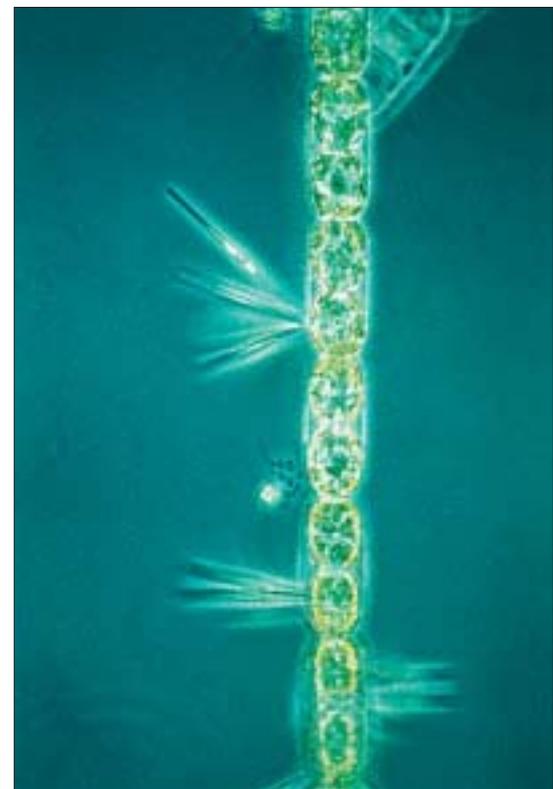
Bereits vor über 150 Jahren wurde beobachtet, dass die „kalte Haut“ des arktischen Ozeans, das Meereis, belebt ist und aufgrund des massenhaften Vorkommens mikroskopisch kleiner Kieselalgen braun gefärbt sein kann. Viele Jahrzehnte lang konzentrierten sich die biologischen Arbeiten in der Arktis auf die Katalogisierung der im Eis lebenden Algen, insbesondere der Kieselalgen. Erst in den letzten 20 bis 30 Jahren haben Wissenschaftler damit begonnen, die im arktischen Eis lebenden Organismen im Hinblick auf ökologische Fragestellungen zu untersuchen.

Die Lebensbedingungen im Meereis der Arktis sind einmalig. Während in der Antarktis das Meereis im Verlauf des Sommers nahezu

komplett wegtaut, sind in den arktischen Regionen ständig mindestens sieben Millionen Quadratkilometer Meeresoberfläche von Eis bedeckt. Eisschollen können so ein Alter von mehreren Jahren erreichen. Solche Unterschiede zwischen den beiden Meeresregionen ziehen auch eine verschiedenartige Besiedlung des Eises nach sich. Auch heute noch ist der arktische Lebensraum schwer zugänglich. Seine Packeisregionen sind mit normalen Schiffen nicht zu befahren, und die extremen Klimabedingungen erschweren die Forschung in den Wintermonaten.

Die Studien der Kieler Wissenschaftler des Instituts für Polarökologie nahmen ihren Anfang mit einer Expedition des Forschungseisbrechers „Polarstern“ im Frühling 1988. Zunächst konzentrierten sie sich auf die Organismen im und unter dem Meereis, danach aber auch auf die Vernetzung der beiden Lebensräume Eis und offenes Wasser.

Für Forscher sind die Arbeitsbedingungen in den beiden Polarge-





Zur Untersuchung des Meereises sind Forscher samt ihrer Ausrüstung auf dem Eis abgesetzt worden. Im Hintergrund ist die „Polarstern“ im häufig auftretenden arktischen Dunst zu erkennen. Links: Eine Kieselalgen-Kette aus dem Meereis. – Ein räuberischer Flohkrebs krallt sich mit Hilfe seiner hakenbesetzten Beine an der Unterseite des Eises fest.

bieten sehr unterschiedlich. Während in der Antarktis Adelige- und Kaiserpinguine das Bohren der Eiskerne als neugierige Besucher begleiten, treten in der Arktis Eisbären als neugierige und gefräßige Besucher auf, die dem Menschen gefährlich werden können. Aus diesem Grunde sind im Norden extra ausgebildete Schützen auf dem Eis, um mit geladenen Gewehren nach sich nähernden Eisbären Ausschau zu halten. Bisher mussten sie aber nie eingreifen. Die Eisbären wurden jeweils rechtzeitig genug entdeckt und ließen sich entweder mit Hilfe eines Hubschraubers vertrei-

ben oder die Eisforscher flüchteten schnell genug zurück auf die „Polarstern“. Die zurückgelassene Ausrüstung roch offensichtlich gut für die Bären, wurde aber glücklicherweise nach kurzer Zeit uninteressant.

Ausgerüstet mit motorgetriebenen Eisbohrern und Schneeschaufeln, wurden inzwischen auf vielen Stationen Eis- und Schneeproben gesammelt, die entweder direkt an Bord des Schiffes in Kühlcontainern oder im Heimatlabor mikroskopisch untersucht wurden. Der größte Teil der darin enthaltenen Organismen ist kleiner als ein Millimeter. Die Studien belegten, dass das arktische Meereis den Lebensraum für eine sehr vielfältige Gemeinschaft bildet, zu der neben Kieselalgen auch Viren, Bakterien, Ein- und Mehrzeller wie Strudel- und Fadenwürmer sowie Rädertierchen gehören. Es zeigte sich, dass sich gerade die inneren und den Oberflächen nahen Eisregionen durch eine hohe Artenvielfalt und zugleich Kohlenstoffproduktion auszeichnen.

Als besonderen Lebensraum studierten die Forscher Schmelztümpel, die nur in den Meereisgebieten der nördlichen Breiten auftreten. In den Sommermonaten können diese Schmelztümpel mehr als die Hälfte der Oberfläche der Eisschollen bedecken. Die Tümpel können Salzgehalte aufweisen, die von reinem Süßwasser bis zu salzhaltigem Meerwasser reichen. Auch in diesen Süßwasserpfützen auf hoher See fanden sich noch angepasste Einzeller, die im Winter Temperaturen von weniger als minus zehn Grad Celsius trotzen und sich im Sommer in Zeiträumen von wenigen Wochen vermehren.

Im Inneren der Eisschollen leben permanent Tiere, die dort durch ein engmaschiges Labyrinth aus Solekanälchen kriechen. Sie fressen Bakterien, Algen sowie andere Tiere. Messungen existieren bisher nicht, da die Arbeiten am Eis ausgesprochen schwierig sind. Taut man das Eis, zerstört man den Lebensraum und erhält ein künstliches System. Weiterhin verändern noch

42

gen die Solekanäle, so dass sich viele der bisher publizierten Werte nur mit Einschränkungen auf die natürlichen Bedingungen übertragen lassen. Erstaunlicherweise brachten die Untersuchungen der „Polarstern“-Expeditionen zu Tage, dass einzelne pflanzliche und tierische Einzeller bei Eistemperaturen von minus zwei bis minus vier Grad Celsius genauso aktiv wie die verwandten Arten in den Tropen waren.

Die vielen biologischen Stoffe (Biomasse) und die Produktivität der im Eis lebenden Organismen sorgen für ein reichhaltiges Nahrungs-



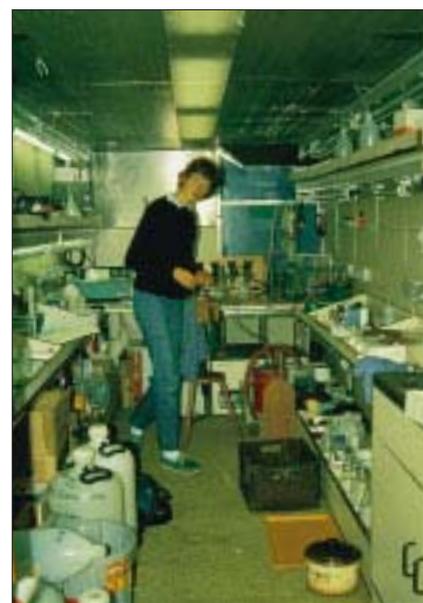
Mit Hilfe eines motorgetriebenen Bohrers können Eiskerne mit einem Durchmesser von 10 Zentimetern gewonnen werden. Rechts: In einem Kühlcontainer an Bord der „Polarstern“ werden polare Organismen aufbewahrt und untersucht.

angebot, das von einer Vielzahl unterschiedlicher Tierarten genutzt wird, die alle an der Grenzschicht zwischen Eis und Wasser leben. Zum Studium dieser Regionen setzten die Wissenschaftler Untereisvideosysteme ein. An langen Stangen wurden Videokameras von wenigen Zentimetern Durchmesser durch Eisbohrlöcher heruntergelassen. So kann die Struktur der Eisunterseiten von Schollen sowie das Vorkommen von Pflanzen und Tie-

ren dokumentiert werden. Dabei zeigte sich, dass der Lebensraum an der Unterseite des Meereises ein stark strukturiertes, dreidimensionales System aus Spalten, Vorsprüngen, Löchern und unterschobenen Schollenbruchstücken ist.

Nur in der Arktis vorkommende Flohkrebsarten und Kleinkrebse leben hier, die überwiegend aus dem Wasser an die Eisunterseite schwimmen und die Eispflanzen und -tiere als Nahrungsbasis nutzen. Die Tierwelt des Untereises nimmt eine zentrale Stellung im polaren Nahrungsnetz ein, weil sie das Bindeglied zwischen der Produktion von Biomasse im Eis und höheren Ebenen der Nahrungskette darstellt. Die arktischen Untereis-Flohkrebs werden unter anderem vom Polardorsch gefressen. Der Polardorsch bildet die Nahrungsgrundlage von Ringelrobben, und diese wiederum von Eisbären. Somit hängt letztendlich selbst der Eisbär von den Kleinstlebewesen in den arktischen Solekanälchen ab.

Taut das Eis in den Randregionen, setzen dramatische biologische Umwälzungen ein. Schmelzprozesse im Meereis wirken sich zunächst auf die Wasserschichten unter und zwischen den Eisschollen aus. Dort entstehen ausgesüßte Wasserschichten von bis zu einem Meter Tiefe. Die biologischen Prozesse direkt unter dem Eis oder in Öffnungen zwischen den Eisschol-



len weisen starke Unterschiede auf, die durch herkömmliche Proben von Bord der Forschungseisbrecher aus nicht erfasst werden. Dies erklärt sich daraus, dass das Eis den für die Kohlenstoffproduktion nötigen Lichteinfluss abschwächt. Nutzt die „Polarstern“ ihre mächtigen Bugstrahlruder oder den Heckpropeller, sind diese Schichtungen sofort zerstört. Der niedrigere Salzgehalt in der Oberflächenschicht und die stärkere Sonneneinstrahlung führen im Frühling zur Anreicherung mit pflanzlichen Organismen (Phytoplankton). Es entstehen so genannte Eisrandblüten, deren Konzentration in der Regel höhere Werte als im offenen Wasser erreicht.

Diese oberflächennahen Prozesse haben Einfluss auf die Färbung des Ozeans, wie sie heute mit modernen Fernerkundungsverfahren erfasst wird. Ein Blick vom Satelliten zeigt daher oft eine Verfärbung des Meeres durch Algen im Bereich der Eisränder. Die Algenblüten am Eisrand sind für die Lebenszyklen vieler polarer Organismen von herausragender Bedeutung. Sie werden von pflanzenfressendem Zooplankton, insbesondere Planktonkrebse, gefressen, die die reichhaltige Nahrung zum Aufbau von Fettreserven für die Überwinterung und Vermehrung nutzen. Das Zooplankton ist wiederum die Nahrungsbasis für höhere Ebenen in der Nahrungskette. So finden sich große Vogelkolonien zumeist in Eisrandregionen in der Nähe von größeren offenen Wasserflächen. Auch Wale und Robben trafen die Wissenschaftler bei Expeditionen vermehrt in der Eisrandzone an.

Das arktische Meereis ist schon seit Jahrzehnten kein ungestörter Naturraum mehr. Eine Vielzahl von Studien belegt, dass sich im Eis von Menschen eingetragene Schadstoffe wie etwa Schwermetalle ablagern. Das Verhalten und der Verbleib dieser Substanzen bei der Eisschmelze ist nicht bekannt, obwohl sie sich zum Teil in hohen Konzentrationen im Nahrungsnetz des Meeres anreichern. Dies gilt gleichermaßen für die natürlichen Ablagerungen im arktischen Meereis,



die teilweise großflächig „schmutziges Eis“ produzieren. Diese Ablagerungen stammen aus unterschiedlichen Quellen, sie gelangen etwa durch windverfrachteten Staub oder angefrorene Meeresedimente in das Eis. Veränderungen in der Eisbedeckung der Polargebiete werden die meereskundlichen, biologischen, sedimentologischen und chemischen Bedingungen folglich erheblich beeinflussen. Die gegenwärtigen globalen Klimamodelle sagen die größten Temperaturveränderungen für arktische Regionen voraus, wo sie eine dramatische Reduktion der Dicke und Ausdehnung der arktischen Packeisdecke nach sich ziehen werden. Drastische Veränderungen sind regional bei der Eisbedeckung zu erwarten. Viele arktische Lebensarten sind jedoch auf die Existenz einer mehrjährigen Eisdecke angewiesen. So genannte Eisamphipoden, das sind Krebse, die kriechend an der Unterseite von Schollen leben, sind beispielsweise schlechte Schwimmer. Es wird vermutet, dass sie nach dem Schmelzen des Eises zum Meeresboden herabsinken und dort sterben. Andere Arten sind auf eine zumindest jährlich auftretende Eisdecke angewiesen. Ringelrobbe etwa verbringen einen Großteil ihres Lebens auf Eisschollen, sie nutzen das Meereis als Kinderstube, Rastplatz und Jagdrevier. Betrachtet man die biologische Pro-

Zwei Forscher werden in einer Gondel am Kran des Forschungsschiffes auf dem Eis abgesetzt. Diese Methode empfiehlt sich insbesondere bei dünnem Eis, da Eiskerne direkt aus der Gondel erbohrt werden können. So muss das Eis selbst nicht betreten werden.

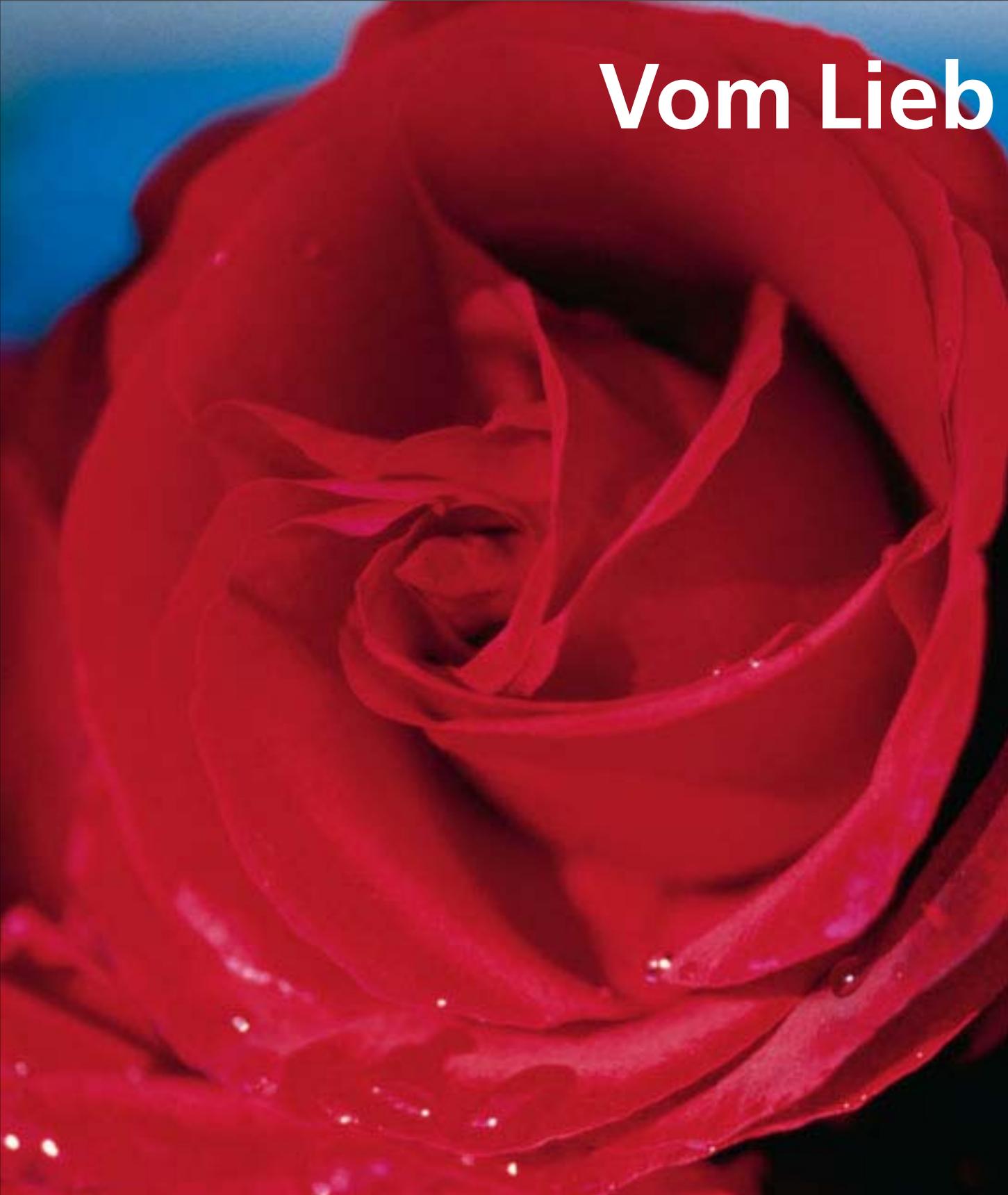
duktivität grundsätzlich, ist bei der zentralen Arktis, die bisher zu den unproduktivsten Meeresregionen der Erde zählt, bei einer Umstellung von einer mehrjährigen zur saisonalen Eisbedeckung mit einer Produktivitätssteigerung zu rechnen. Eisrandblüten werden sich dann auch von den Schelfen in die Tiefwasserregionen ausdehnen. In Anbetracht der vorausgesagten und zum Teil bereits gemessenen Reaktionen der arktischen Meereisdecke auf klimatische Veränderungen stellt sich die Aufgabe, die Größenordnung der zu erwartenden biologischen Effekte von der zellulären Ebene bis zum umfassenden Modell abzuschätzen.

*Prof. Dr. Michael Spindler
Universität Kiel*

*Prof. Dr. Rolf Gradinger
University of Alaska, Fairbanks*

Die Expeditionen der „Polarstern“ wurden im Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung“ und im Rahmen des koordinierten Programms „Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“ gefördert.

Vom Lieb



erleben einer „Königin“



Die Sexualität der Rosen interessiert nicht allein den Wissenschaftler – ihre Erforschung könnte zu neuen Züchtungen mit großer wirtschaftlicher Bedeutung führen

Kaum eine Pflanze hat die Phantasie und Kulturgeschichte der Menschheit so beflügelt wie die Rose. Als Sinnbild der Liebe und Unschuld wird ihr die Rolle als „Königin der Blumen“ zugeteilt.

Ganz anders stellt sie sich jedoch aus der Sicht der Pflanzensystematik dar. Von den annähernd 200 Rosenarten der Welt gehört insbesondere die Gruppe der Hundsrosen, die Sektion *Caninae*, mit etwa 30 Arten zu den, unter botanisch-systematischen Gesichtspunkten, kritischen Pflanzen. Während ein Großteil der Schwierigkeiten auf biologische, vorrangig genetische Eigenheiten der Hundsrosen zurückzuführen ist, ist ein immer noch bedeutender Anteil an den Problemen in dieser Gruppe historisch begründet.

Bereits der Theologe und Naturforscher Albertus Magnus (um 1200 bis 1280) hatte zwischen den der Rinde aufsitzenden Stacheln der

Rose und den aus dem Inneren des Pflanzenkörpers entstehenden Dornen anderer Pflanzen unterschieden. Auch hatte er die unterschiedliche Gestalt der Kelchblätter mancher Rose bemerkt, ein Merkmal, das bis heute zur Trennung der Gruppe der Hundsrosen von den restlichen Rosen verwendet wird. Dennoch, die wissenschaftliche Rosenkunde, die Rhodologie, datiert auf den Anfang des 16. Jahrhunderts. In dieser Zeit entstanden im Zuge der botanischen Renaissance die ersten wissenschaftlichen Kräuterbücher. In ihnen werden im Wesentlichen nur zwei Gruppen unterschieden, die „Zahmen“, das heißt die gefüllt blühenden Kulturrosen, und die „Wilden“, die nicht gefüllten Wildrosen; beide Gruppen jeweils in den Farbvarianten weiß und rot. Bis zum Ende des 16. Jahrhunderts wird das „Artinventar“ in den Kräuterbüchern immer mehr vergrößert, unter anderem durch die Einfuhr neuer Rosen aus ande- 45

ren Gebieten. Eines der letzten Kräuterbücher dieser Epoche wird im Jahr 1597 von John Gerad erstellt. Sein „Herball“ enthält bereits 16 verschiedene Rosen und markiert den Anfangspunkt einer Trennung zwischen wissenschaftlicher und gartenbaulich orientierter Rhodologie.

In den folgenden Jahrhunderten passiert in der wissenschaftlichen Rhodologie wenig. Mit Beginn des 19. Jahrhunderts explodiert jedoch das Interesse an den Rosen und führt zu einer unglaublichen Fülle an Literatur, deren Gesamtzahl bis heute etwa 6000 Titel umfasst. Mit dem Anstieg des Wissens um neue Arten und Formen in der Gattung wird ein größeres Einteilungsprinzip notwendig. Den Anfang markiert 1818 eine Veröffentlichung des Botanikers Pyramus Auguste de Candolle. Basierend auf morphologischen Unterscheidungsmerkmalen, gliedert er die Gattung in insgesamt elf Sektionen. Für die Rhodologie ist das 19. und frühe 20. Jahrhundert das Goldene Zeitalter. Um 1930 existieren etwa 2000 Namen verschiedenen taxonomischen Ranges für Rosen. 1931 vereinte und bewertete der Schweizer Botaniker

Die Art der Vermehrung bei den Hundsrosen war lange Zeit umstritten. Heute weiß man, dass sie im Regelfall sexuell miteinander agieren. Die „weiche Rose“ konnte durch molekulare Befunde eindeutig als Mutter einer Naturhybride nachgewiesen werden.

Robert Keller die Fülle dieser publizierten Namen und arbeitete nach morphologischen Gesichtspunkten jene etwa 30 Arten für Mitteleuropa heraus, die bis heute akzeptiert sind. Schließlich wurde 1940 das am weitesten verbreitete Gesamtsystem entwickelt, das eine Synthese aus den vielen Vorläufersystemen darstellt. Hier werden weltweit annähernd 200 Arten aufgeführt und die Gattung aufgrund morphologischer Eigenheiten in vier Unterarten und zehn Sektionen gegliedert.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckte der schwedische Botaniker Gunnar Täckholm, dass die Gruppe der Hundsrosen – die in Mitteleuropa dominierende Sektion der Rosen – durch einen nur ihr eigentümlichen Modus der Bildung von Geschlechtszellen charakterisiert ist. Alle Hundsrosen sind polyploid, das heißt sie enthalten mehr als zwei Chromosomensätze; im Fall der Hundsrosen ist der Chromosomensatz in der Regel fünfmal vorhanden. Bei der Formation der Geschlechtszellen, der Gameten, entstehen jedoch nicht Zellen mit einer gleichen Anzahl Chromosomen, sondern die Eizelle bewahrt vier Chromosomensätze, während fruchtbare Pollenkörper lediglich einen Chromosomensatz erhalten. Dieser Modus der Ungleichverteilung wird als „Heterogamie“ bezeichnet. Bei einer Befruchtung wird der ursprüngliche fünffache (pentaploide) Zustand

wieder hergestellt mit der Folge, dass Nachkommen aus Kreuzungen stärker der mütterlichen Pflanze ähneln, da diese 4/5 des Erbguts (nämlich vier von fünf Chromosomensätzen) zur Verfügung stellt.

Mit der Aufdeckung dieser sogenannten „Canina-Meiose“ traten zwei Fragen in den Vordergrund. Was waren die Ursachen für das Auftreten eines solchen Fortpflanzungstyps sowie die innere genetische Struktur der Hundsrosen und waren Organismen mit einem derart merkwürdigen genetischen System überhaupt zu sexueller Vermehrung fähig oder erfolgte diese nur über Apomixis, das heißt Samenbildung ohne Befruchtung? Obwohl bereits in den Jahren 1908 bis 1915 die sexuelle Reproduktion der Rosen nachgewiesen werden konnte, glaubte Täckholm an eine apomiktische Vermehrung innerhalb der Gruppe. Als logische Konsequenz müssen jeder einzelne Rosenstrauch und seine Nachkommen als eigene „Art“ betrachtet werden, da sie ein eigenes Schicksal in der Evolution besitzen und nicht mehr in den genetischen Austausch mit anderen Individuen der Gruppe treten. Dies führte zu der Auffassung, dass jede noch so geringe morphologische Veränderung Kennzeichen einer neuen Art ist und damit einen neuen Namen verdient, was zu der bereits erwähnten Namensflut erheblich beitrug. Bis heute ist die genaue Reproduktionsbiologie der Hundsrosen nicht völlig geklärt, obwohl in den Vorarbeiten zu diesem Forschungsprojekt annähernd 500 Kreuzungsexperimente in Wildpopulationen durchgeführt und die Ergebnisse 1997 publiziert wurden.

Nach dem jetzigen Wissensstand vermehren sich die Hundsrosen fast ausschließlich sexuell, wobei jedoch kaum Kreuzungsbarrieren zwischen den einzelnen Arten bestehen. Selbstbestäubung ist ebenfalls erfolgreich, zusätzlich auch die Samenbildung ohne Befruchtung, also die oben erwähnte apomiktische Vermehrung.

Um die Fragen nach den Ursachen für das Auftreten und die Entstehung des Meiose-Fortpflanzungstyps und der genetischen Konstitution zu beantworten, wurde



eine genetische Analyse, die so genannte Sequenzierung, eines Abschnitts im Gesamtgenom der Pflanzen durchgeführt.

Erstmals konnte in den Rosen auf molekularer Ebene eine Hybridisierung sowohl an künstlichen als auch an natürlichen Hybriden nachgewiesen werden. Unter einem Hybriden versteht man ein aus der Kreuzung zweier genetisch verschiedener Eltern her-



vorgegangenes Individuum. Der Vorgang als solcher wird als Hybridisierung bezeichnet.

Die Versuchsergebnisse zeigten, dass alle untersuchten Rosen der Sektion *Caninae* so genannte permanente Hybriden darstellen. So enthält *Rosa canina*, die Hundsrose, vier verschiedene Chromosomensätze. Gleichzeitig konnte nachgewiesen werden, dass der Satz A nicht auf die Hundsrosen beschränkt ist, sondern auch in der Essigrose, *Rosa gallica*, vorkommt, die Mitglied einer anderen Sektion ist, der *Gallicanae*. *Rosa gallica* enthält zudem einen weiteren Satz B, der schließlich wieder in *Rosa jundzillii* (Rauhblättrige Rose, ein Mitglied der Hundsrosen) nachgewiesen werden konnte. Dies bestätigt die bereits 1904 von Robert Keller aufgestellte These, dass *Rosa jundzillii* ein Hybride zwischen *Rosa gallica* und einem Vertreter der Hundsrosen ist.

Erstmals konnten in diesem Projekt die permanente hybridogene Konstitution der Hundsrosen nachgewiesen und einzelne Chromoso-

mensätze charakterisiert werden. Damit ist im Prinzip die Möglichkeit gegeben, die gesamte Stammesgeschichte der Gruppe zu klären und Aussagen über das Auftreten und die Berechtigung von beschriebenen „Arten“ zu machen. Zusätzlich erlaubt die selektive Charakterisierung einzelner Genomanteile die Integration der Hundsrosen und deren wertvolle Eigenschaften, beispielsweise Frosthärte und Krankheitsresistenz in spezielle Züchtungsprogramme. Die Ergebnisse dieser Studie sind, neben der Anwendung in der Grundlagenforschung und speziell in der Systematischen Botanik, in hohem Maße von pflanzenzüchterischem Interesse. Sie können langfristig zu neuen

Züchtungen mit enormer wirtschaftlicher Bedeutung führen und damit wieder die beiden Linien „gartenbauliche“ und „wissenschaftliche“ Rhodologie verbinden, die im 16. Jahrhundert bei der Trennung in die Zahmen und Wilden Rosen durch die „Väter der Pflanzenkunde“ begründet wurden.

Dr. Volker Wissemann
Prof. Dr. Frank H. Hellwig
Universität Jena
Prof. Dr. Fred-Günter Schroeder
Prof. Dr. Gerhard Wagenitz
Universität Göttingen

Das Projekt wurde durch die DFG im Schwerpunktprogramm „Molekulare Grundlagen der Evolution bei Pflanzen – Artbildung und Phylogenie; Methoden und Datenauswertung“ und im Normalverfahren gefördert. 47

Die Bauhütten des Mittelalters sind Orte ständiger technischer Innovationen gewesen und die dort angewandten Verfahren kann man durchaus zu den Spitzentechnologien der Zeit zählen. Mit der Herstellung spätgotischer Ziergewölbe war schließlich in der Baukunst ein Stand der Technik erreicht worden, der zur Lösung vergleichbarer Aufgaben auch heute noch ohne wesentliche Abstriche praktikabel ist. So gehören die figurierten Rippengewölbe der deutschen Spätgotik zweifellos zu den Meisterleistungen der Steinmetzkunst. Stand hinter ihrer hochentwickelten Technik auch eine vergleichbare Theorie?

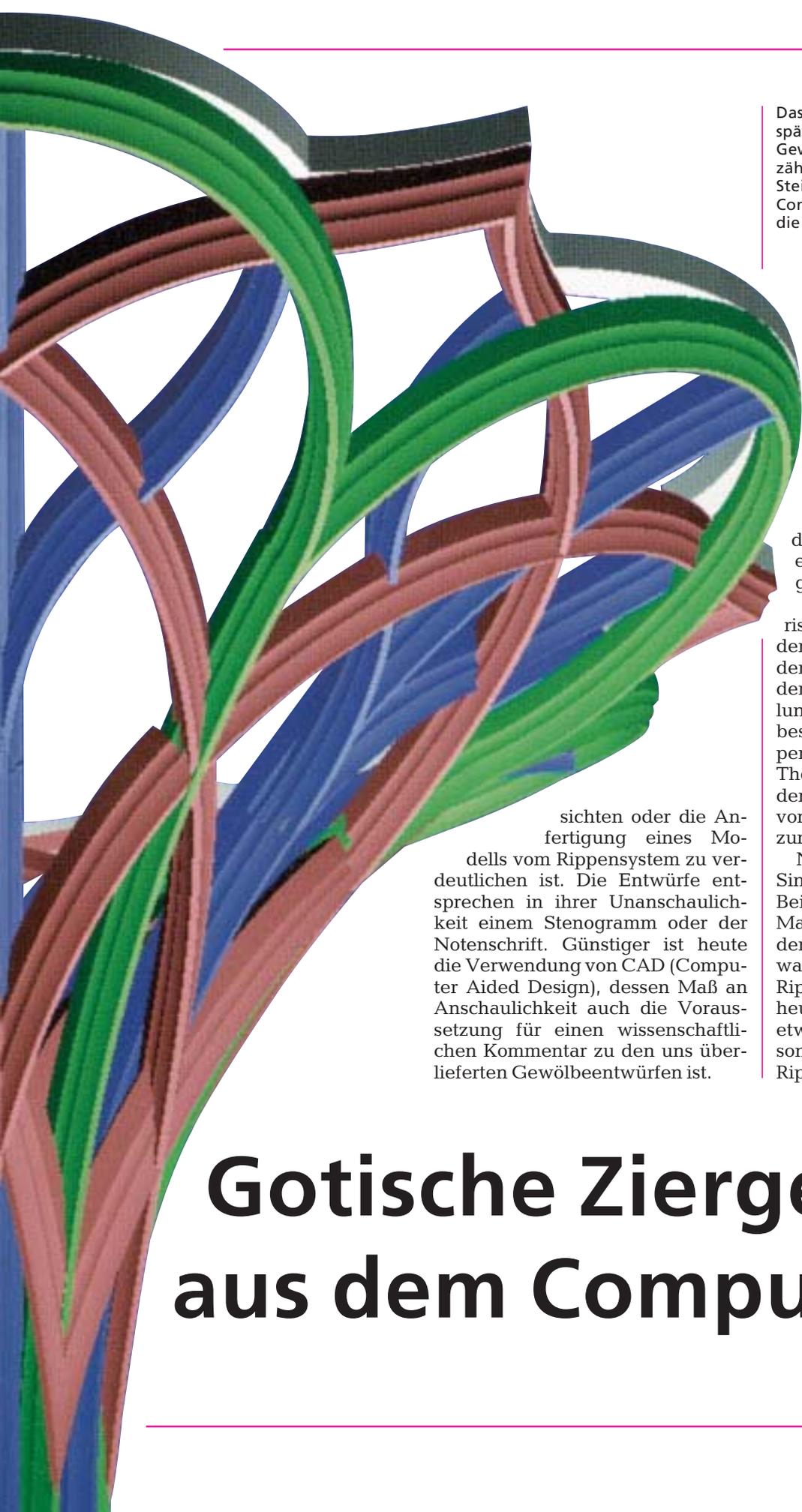
Die Bedeutung des Begriffs „Theorie“ ist nicht zu allen Zeiten die gleiche gewesen und selbst innerhalb geschichtlicher Epochen kann dieser Begriff verschiedene Bedeutungen haben. Gemessen an dem mit der italienischen Renaissance aufkommenden Theorieverständnis hatten die Baumeister der deutschen Spätgotik keine Theorie. Sie besaßen jedoch Kriterien dafür, ob eine Architekturform nach den Regeln ihrer Kunst als „regelrecht“ geschaffen und geformt war. Die Anfertigung von Ansichten gemäß den Regeln der Perspektive gehörte hingegen nicht zum Lehrplan spätgotischer Baumeister.

So standen zur Veranschaulichung eines Gewölbeentwurfs im Wesentlichen Baumodelle zur Verfügung. Die im Rahmen der Meisterprüfung im süddeutschen Steinmetzhandwerk anzufertigenden Lehrbogenmodelle – die so genannten Lehrbögen hatten das Rippen-

gerüst während des Bauvorganges abzustützen – erlaubten von dem Gewölbe nur eine gewisse Vorstellung in der Draufsicht, also von einem Standpunkt aus, der für die ästhetische Wirkung unerheblich ist. Die Entwurfszeichnungen in den zeitgenössischen Mustersammlungen haben einen so hohen Grad an Abstraktheit, dass das Ergebnis des damit gemeinten Formbildungsprozesses nur durch gezeichnete An-

Der reichen und vielfältigen Ornamentik der spätgotischen Gewölbearchitektur liegen Regeln zugrunde, denen Wissenschaftler mit den Mitteln moderner Computersimulation auf den Grund gehen; auf diese Weise gelingt es ihnen, die Gedanken der Baumeister von damals zu lesen





Das virtuelle Rippensystem einer spätgotischen Zierkonsole. Die Gewölbearchitektur des Mittelalters zählt zu den Meisterleistungen der Steinmetzkunst. Durch moderne Computersimulation wird es möglich, die Regeln dieser Kunst zu ergründen.

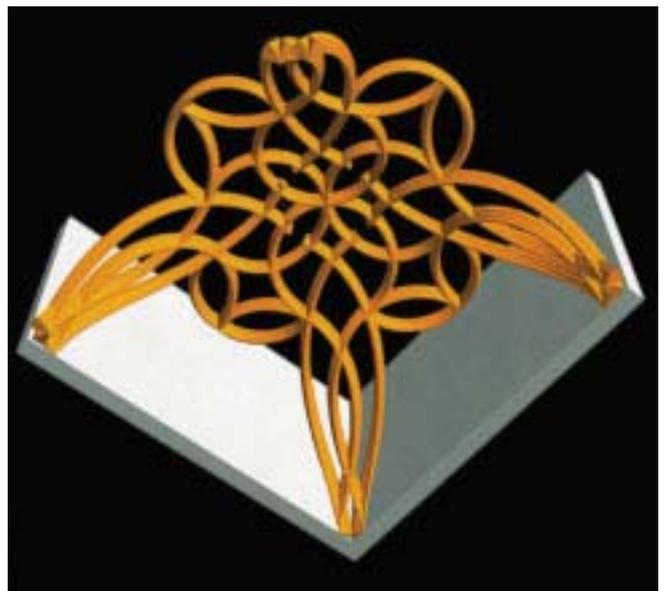
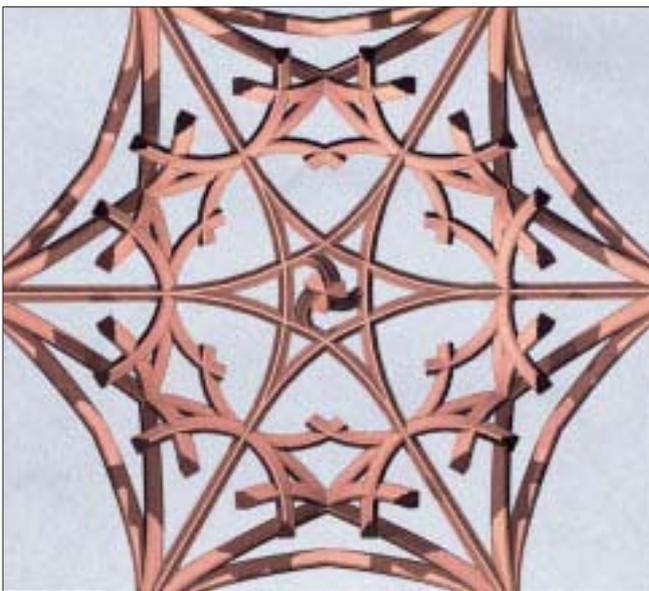
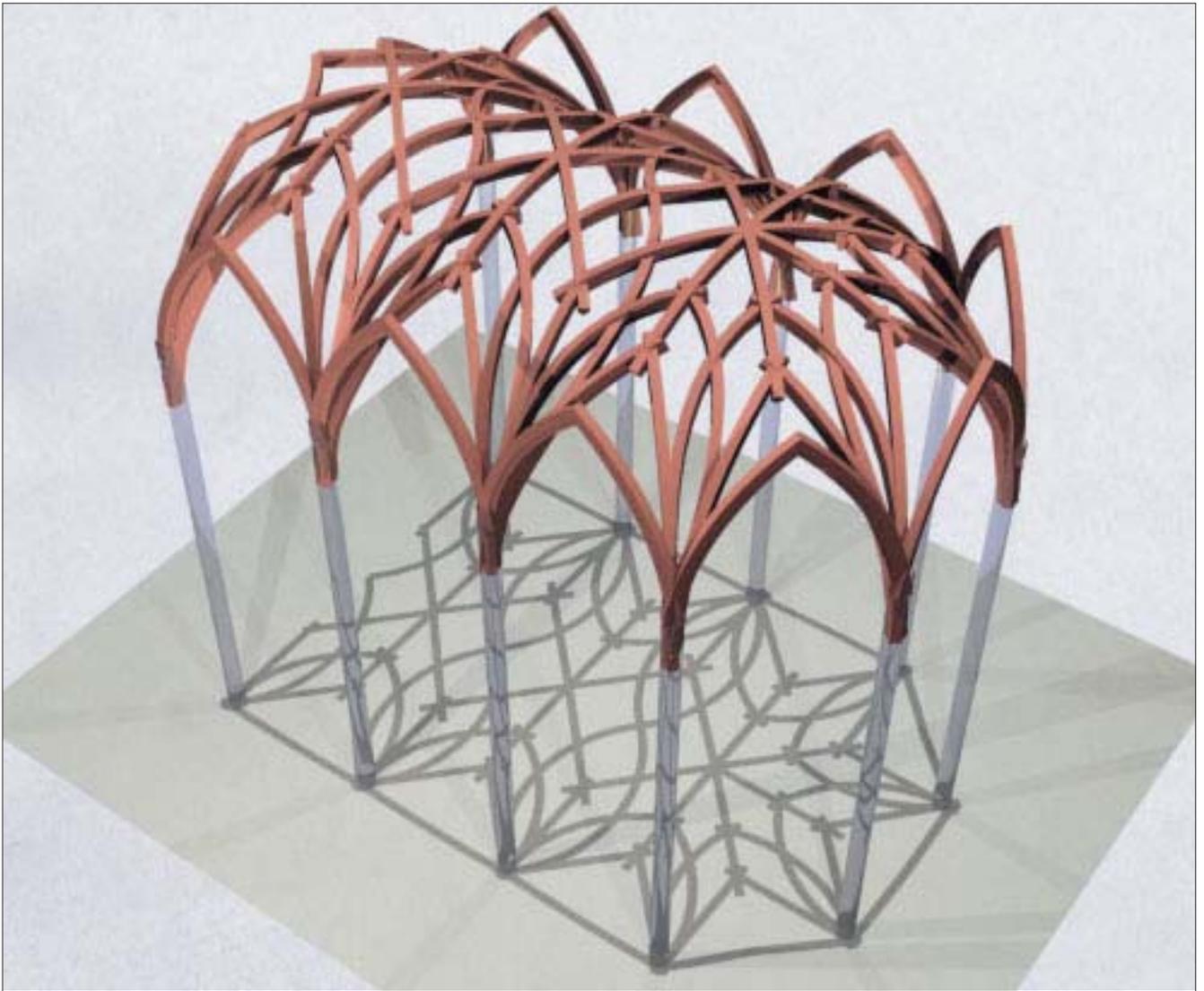
Die Abstraktion beruht in diesem Falle nicht auf der Anfertigung eines Gewölbequerschnitts, sondern erstreckt sich auf die Anfertigung einer sogenannten Bogenaustragung. Dabei wird das Rippensystem aus dem Grundriss abgeleitet und Form und räumliche Position der Rippenbögen und ihrer Kreuzungsstücke bestimmt. Anders ausgedrückt: Es liegt hier eine Art von geometrischem Algorithmus vor.

Dabei sind der Gewölbegrundriss und die Bogenaustragung in den komplizierten Rippengewölben der Spätgotik keine Hilfsmittel bei der Verwirklichung einer Vorstellung des zu Bauenden, sondern sie bestimmen die Gestaltung des Rippensystems. Vom Standpunkt einer Theorie her betrachtet haben sie den Charakter einer ohne Angabe von Gründen vorgenommenen Setzung: „So soll es sein!“

sichten oder die Anfertigung eines Modells vom Rippensystem zu verdeutlichen ist. Die Entwürfe entsprechen in ihrer Unanschaulichkeit einem Stenogramm oder der Notenschrift. Günstiger ist heute die Verwendung von CAD (Computer Aided Design), dessen Maß an Anschaulichkeit auch die Voraussetzung für einen wissenschaftlichen Kommentar zu den uns überlieferten Gewölbeentwürfen ist.

Nicht, dass das Regelwerk keinen Sinn für die Praxis gehabt hätte. Beim Arbeiten mit vorgefertigtem Material, wie es für den Baubetrieb der späten Gotik charakteristisch war, bestand die Darstellung eines Rippensystems nicht aus den uns heute geläufigen Projektionen wie etwa Aufrissen und Querschnitten, sondern in Montageplänen, die alle Rippenäste, auch die an den Kreuz-

Gotische Ziergewölbe aus dem Computer



Die virtuellen Rippensysteme eines spätgotischen Kirchenchores links), eines Gewölbegrundrisses (unten links) und eines Ziergewölbes (unten rechts).

zungsstücken, unverkürzt wiedergaben. Diese Montagepläne beruhen auf der Anwendung bestimmter Regeln für die Ableitung einer Bogenaustragung aus dem Grundriss. Mit welcher Genauigkeit die gebauten Rippensysteme diesen Regeln folgten, muss von Fall zu Fall geprüft werden. Unbestreitbar ist aber, dass diese Regeln für den deutschen Gewölbebau die Grundlage spätgotischer Formfantasie bildeten. Die Erzeugung des reich und kompliziert Erscheinenden war auf äußerst ökonomische Weise möglich, weil die genormten Einzelbestandteile und die Formung des Ganzen in enger gedanklicher Verbindung zueinander standen.

Heute können daher Gewölbe am Bildschirm modelliert werden, von denen nur ein Grundriss vorliegt. Sofern diese Modellierung nach Regeln des damaligen Steinmetzhandwerks erfolgt, können die Ergebnisse durchaus historische Authentizität beanspruchen. Damit erhofft man sich die Möglichkeit einer experimentellen Architekturgeschichte.

Voraussetzung für die Modellierung eines Gewölbes, von dem nur der Grundriss überliefert wurde, ist die Umsetzung des Grundrisses zu einer „regelrechten“ Bogenaustragung. Zu gebauten Gewölben liegen Bogenaustragungen kaum vor, wohl aber in späteren Bauaufnahmen angefertigte Grundrisse. Eine Bogenaustragung zu ergänzen, um das Gewölbe modellieren zu können, wird man wahrscheinlich von vornherein als müßig erachten.

Anders, wenn es darum geht, die Gedanken des entwerfenden Baumeisters nachzuvollziehen, um zu wissen, wie er im vorliegenden Fall gedacht hat, und das durch das Ex-



periment zu bestätigen. Eine solche Bestätigung gelang beispielsweise im Fall des Rippensystems auf der Unterseite der Kanzelstiege von St. Stephan in Wien. Der hierzu über-

lieferte Riss wurde für das Übungsblatt eines „nicht unbegabten Anfängers“ gehalten, das aber für die Ausführung des Werkes nicht viel taugte. Demgegenüber konnte

durch ein Experiment bestätigt werden, dass der Originalentwurf auch nicht viel anders ausgesehen hat als die Schülerzeichnung. Im Grunde enthält dieser Riss alle Angaben,

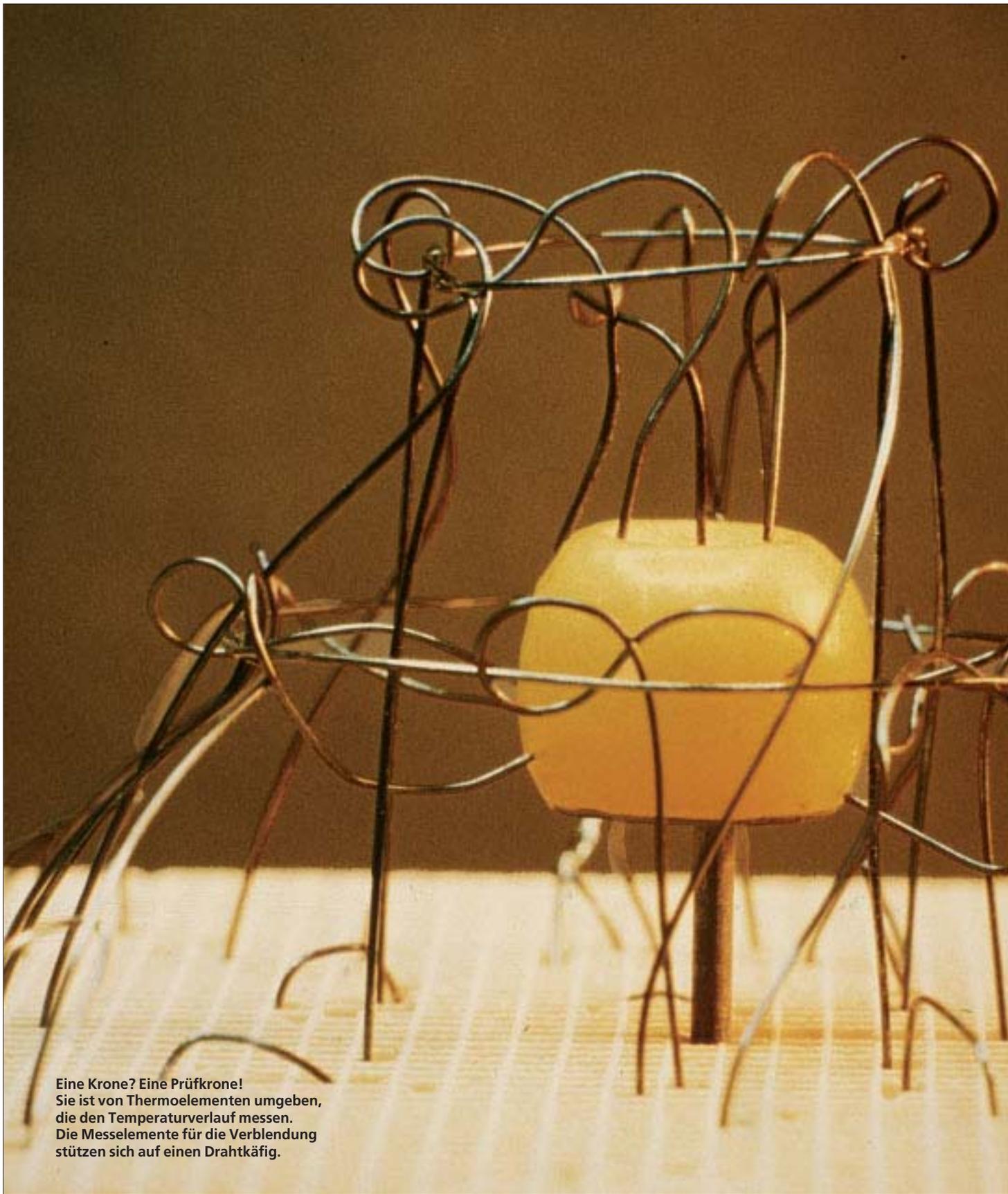
Computerdarstellung eines Kirchenchores. Welche Theorie stand hinter der hoch entwickelten Technik der alten Baumeister?

die damals ein geschulter Steinmetz zur Verwirklichung des Werkes brauchte. Die Simulation des Rippensystems gelang mit den Angaben, die der Zeichnung entnommen werden konnten.

*Prof. Dr. Dr. h.c. Willi Jäger
Universität Heidelberg
Dr. Werner Müller, Ludwigshafen
PD Dr. Norbert Quien, St. Ingbert*

Das Projekt wurde im Normalverfahren der DFG gefördert.

Heute können Gewölbe am Bildschirm modelliert werden, von denen nur ein Grundriss vorliegt.



Eine Krone? Eine Prüfkrone!
Sie ist von Thermoelementen umgeben,
die den Temperaturverlauf messen.
Die Messelemente für die Verblendung
stützen sich auf einen Drahtkäfig.

Jährlich wird in Deutschland für mehrere hundert Millionen Euro metallkeramischer Zahnersatz hergestellt. Trotz routinemäßiger Fertigung sind Abplatzungen oder Risse in der keramischen Verblendung nicht auszuschließen. Für diese Schädigungen können Wärmespannungen verantwortlich sein

Im Dienste der Krone

Bereits seit etwa 35 Jahren wird metallkeramischer Zahnersatz (Kronen, Brücken, Prothesen) routinemäßig in der zahnärztlichen Prothetik eingesetzt. Dennoch kommen – insbesondere, wenn Zahn-techniker zu einer neuen Legierung und/oder Keramik greifen – immer wieder Schädigungen wie Risse oder Abplatzungen in der Keramik oder Abscherungen der Verblendung vom Metallgerüst vor. Diese können entweder schon während der Fertigung des Ersatzes im Labor, später beim Einsetzen in den Mund des Patienten oder nach kurzer Tragezeit eintreten. Da allein in der Bundesrepublik jährlich metallkeramischer Zahnersatz im Umfang von mehreren hundert Millionen Euro hergestellt wird, ist es von volkswirtschaftlichem Nutzen, die Entstehung und die Verteilung der Wärmespannungen, die für diese Schädigungen verantwortlich sind, zu untersuchen.

Metallkeramischer Zahnersatz besteht aus einem Legierungsgerüst, das durch Aufbrennen (Aufsintern) von Keramik („Porzellan“) zahnähnlich verblendet wird. Er vereinigt somit die hohe Steifigkeit der Legierung mit den vorteilhaften Eigenschaften von Keramik: exzellente Gewebeverträglichkeit (Biokompatibilität), unübertroffene Ästhetik über viele Jahre hinaus und ausgezeichnete Abriebsfestigkeit.

Aus Kostengründen werden in neuerer Zeit neben hochgoldhaltigen auch goldreduzierte, Palladium-Basis- und Nichtedelmetall-Legierungen eingesetzt. Bei deutlich höherer Steifigkeit bieten insbesondere die CoCr-Legierungen ein mit den klassischen Legierungen vergleichbar gutes Korrosionsverhalten im Mundmilieu.

Bei der Fertigung von metallkeramischem Zahnersatz, auch Restauration genannt, wird gemäß den vom Zahnarzt gelieferten Abdrücken ein Legierungsgerüst gegossen und anschließend mit Keramik beschichtet. Als Mischung von Pulver und Liquid besitzt sie zunächst eine pastenartige Konsistenz. Das Objekt wird auf einen so genannten Brenngutträger montiert und in einem Brennofen auf hohe Temperaturen aufgeheizt. Je nach Keramik beträgt die Brenntemperatur zwischen 850 und 980 Grad Celsius. Anschließend kühlt die Restauration nach einem vorgegebenen zeitlichen Verlauf zunächst im Brennofen, später außerhalb an der Luft auf Raumtemperatur ab. Da die Keramik während des Sinterns schrumpft, sind in der Regel vier Brennvorgänge vonnöten.

Bei der Glastemperatur, die meistens im Intervall von 550 bis 600 Grad Celsius liegt, geht die Keramik vom plastisch-zähflüssigen in den elastisch-spröden Zustand 53

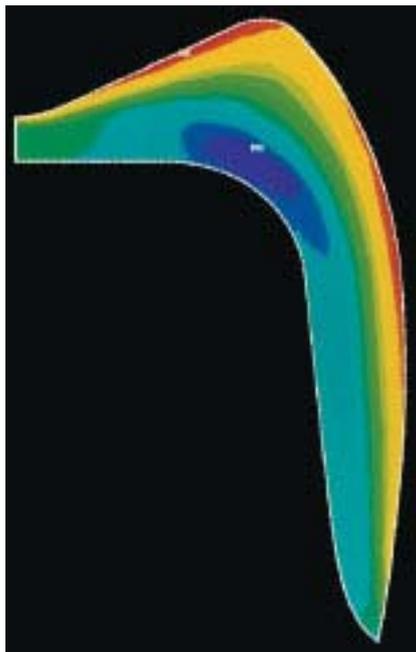
über. Oberhalb der Glastemperatur folgt die Keramik spannungsfrei der eigenen Schrumpfung und der des Gerüsts durch „Nachfließen“. Unterhalb der Glastemperatur hingegen bauen sich Wärmespannungen im Verbundsystem auf, weil sich das Wärmeausdehnungsverhalten der nun „harten“ Keramik von demjenigen der Legierung unterscheidet. Verblendung und Gerüst würden bei freier Verformung geometrisch nicht mehr zusammen passen, sind jedoch an der Materialtrennfläche miteinander verbunden. Dabei entstehen Zwängungen. Bei „thermisch inkompatiblen“ Materialkombinationen kann es dann wegen kritischer Wärmespannungen schon während der Fertigung oder später durch zu-



sätzliche Lastspannungen beim Einzementieren oder beim Kauen zu Schädigungen kommen.

In einem von der DFG geförderten Forschungsvorhaben wurde untersucht, wie sich Wärmespannungen in metallkeramischen Kronen entwickeln. Neben dem unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhalten der beiden Werkstoffe spielt dabei die zeitlich und lokal unterschiedliche Abkühlung eine große Rolle. Wegen der komplexen

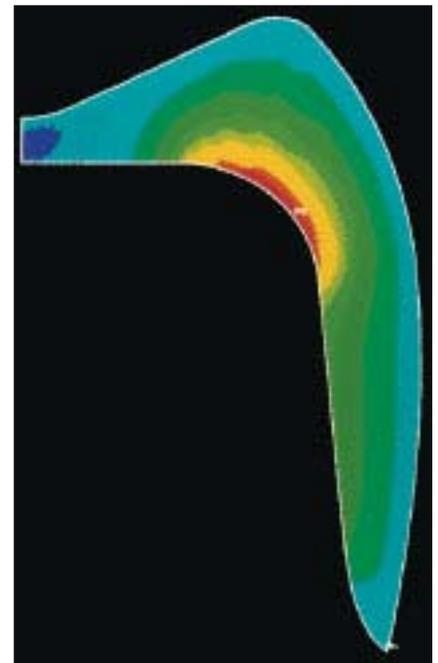
Kronengeometrie ist die analytische und numerische Ermittlung der Wärmeabfuhr in die Umgebung derzeit noch nicht möglich. Daher maßen die Wissenschaftler in einer Reihe von Punkten die Oberflächentemperatur während des Abkühlens experimentell mit Hilfe von Thermoelementen. Bei zusätzlich vorgegebener Anfangstemperaturverteilung in der Gesamtkrone lassen sich auf diese



Während der Abkühlung ist eine Prüfkronen hohen Belastungen ausgesetzt. 26 Sekunden nach Ofenöffnung sind die Temperaturgradienten (links) und damit auch die vorübergehend auftretenden Wärmespannungen am größten. Sie konzentrieren sich an der Oberfläche der Verblendung (Mitte), in der auf Raumtemperatur abgekühlten Krone hingegen an der Materialtrennfläche im Übergang von den Kauflächen zum Wandbereich (rechts). Links: gesamte Krone; Mitte und rechts: nur keramische Verblendung.

Weise nämlich sowohl die Temperatur- als auch die Wärmespannungsverteilung im Innern der Krone eindeutig berechnen.

Aus den in den einzelnen Oberflächenpunkten gemessenen Temperatur-Zeit-Verläufen wurde ein stetiger Temperaturverlauf entlang der Kronenoberfläche interpoliert. Dieser diente als Input für ein



so genanntes Finite-Element-(FE-)Modell, um die Spannungsverteilung im Innern der Krone sowohl im zeitlichen als auch im räumlichen Verlauf zu berechnen. Dabei wurde sowohl für die Legierung als auch für die Keramik ein linear-thermoelastisches Materialverhalten vorausgesetzt.

In einer ersten Simulation vollzog man eine Langzeitabkühlung im Ofen nach. Der Deckel des Brennofens wurde bei einer homogenen Kronentemperatur von 600 Grad Celsius und damit knapp oberhalb der Glastemperatur der Keramik (581,7 Grad Celsius) geöffnet und die Krone dem Ofen entnommen. Sofort bauen sich erhebliche Temperaturgradienten, das sind Temperaturgefälle, in der Krone auf: Die höchsten Temperaturen werden durchweg im Gerüst, die niedrigsten an der Verblendungsoberfläche gemessen. Dies hängt damit zusammen, dass die Keramik Wärme frei in die Umgebung abstrahlen kann, während sich die Partien des Gerüsts gegenseitig anstrahlen. Zudem gibt die Verblendungsfläche durch Konvektion mehr Wärme an die vorbeistreichende Luft ab als das einen Hohlraum bildende Gerüstinnere.

Ungefähr eine halbe Minute nach Beginn der Abkühlphase tritt der

höchste Temperaturunterschied zwischen Gerüst und Keramikoberfläche auf. Er kann mehr als 120 Grad Celsius betragen. Auch die Wärmezugschspannung ist zu diesem Zeitpunkt am höchsten. Zugspannungen sind für ein sprödes Material wie Keramik schädlich. Im kritischen Fall führen sie zu Rissen oder Abplatzungen. Demgegenüber steht das Innere der Verblendung unter Druck oder höchstens mäßigem Zug. Mit fortschreitender Abkühlung kommt es in der Krone zu einem Temperaturengleich. Dann nehmen die Temperaturgradienten wieder ab, und die maximalen Zugspannungen wandern von der Keramikoberfläche in die Verbundfläche zur Legierung. Als residuell bezeichnet man den in der Krone nach der Fertigung „eingefrorenen“ Eigenspannungszustand.

Interessant – und bisher wohl unbekannt – ist aber, dass die vorübergehend auftretenden, so genannten transienten Wärmeschpannungen die nach vollständiger Abkühlung verbleibenden residuellen Spannungen deutlich überschreiten können. Dies kann schon im Abkühlungsprozess zu Rissen oder Abplatzungen führen.

Untersuchungen an geometrisch identischen, aber aus anderen Gerüstlegierungen gefertigten Modellkronen zeigten, dass die Wärmeschpannungen mit abnehmender Stei-

figkeit der Legierung kleiner werden. Für hochgoldhaltige Legierungen vermindern sich die Spannungswerte um rund 35 Prozent. Beim Einsatz von Nichtelegierungsmetall-Legierungen muss deshalb besonders genau darauf geachtet werden, dass die Ausdehnungseigenschaften der Keramik und des Gerüstmaterials nicht zu sehr voneinander abweichen. Eine Angleichung an die

Legierung kann bei den meisten Keramiken durch einen Langzeit-Abkühlungsprozess erzielt werden.

Die residuellen Spannungen in der Verblendung sind allein durch das Ausdehnungsverhalten und die Steifigkeiten der beiden Materialpartner festgelegt. Die transienten Wärmeschpannungen hingegen lassen sich durch den Abkühlvorgang

Nach dem Brand sind in der Brücke feine Risse in der Verblendung entstanden. Die Untersuchungen zeigen, dass für die Fertigung einer einwandfreien Konstruktion neben der „thermischen Kompatibilität“ der verwendeten Materialien sowie dem Brenn- und Abkühlvorgang auch die Krümmung der Gerüstoberfläche berücksichtigt werden muss.

manipulieren: Wird beispielsweise der Brennofen erst bei einer Temperatur von 450 Grad Celsius – und somit unterhalb der Glastemperatur der Keramik – geöffnet, so vermindern sich diese um rund ein

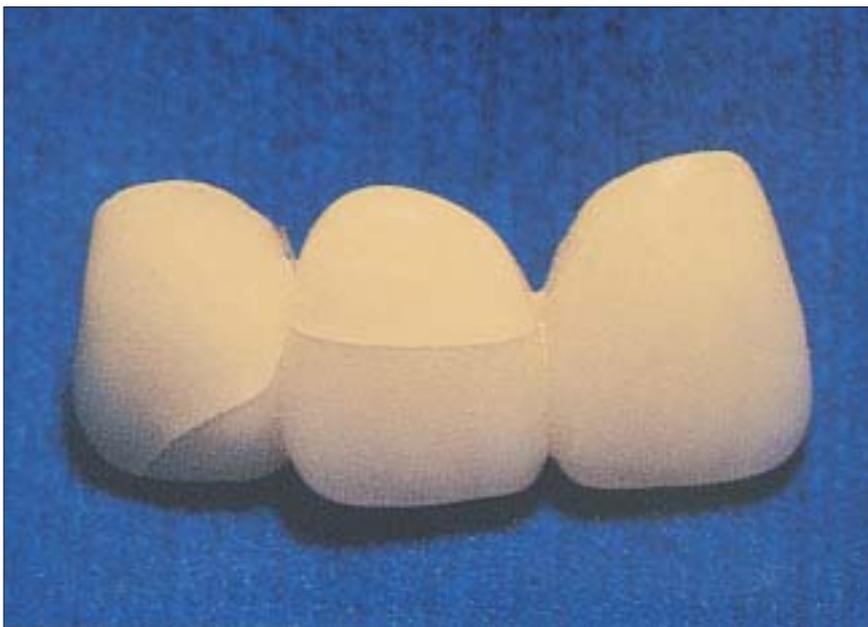
Drittel. Im zahn-technischen Labor, wo eine zügige Produktion metallkeramischer Arbeiten gewährleistet sein muss, kann die Öffnungstemperatur des Brenn-

ofens wegen der entsprechend längeren Belegungszeit jedoch nicht beliebig abgesenkt werden. Es ist bekannt, dass die in der ausgekühlten Krone in der Verbundfläche vorliegenden maximalen Spannungen entscheidend vom lokalen Krümmungsradius abhängen. Der Zahn-techniker ist deshalb gut beraten, die Gerüstoberfläche wohl zu runden. Auch der Zahnarzt kann durch eine entsprechende Präparation des zu rekonstruierenden Zahnes bereits wesentlich dazu beitragen.

Erstaunlicherweise zeigten die Experimente, dass die maximalen transienten Wärmeschpannungen auch maßgeblich vom Abstand der Krone über dem Brenngutträger abhängen. Bisher wurde der vereinfachte Fall simuliert, dass die Verblendung in einem Brennvorgang auf das Gerüst aufgesintert wird. Die Wissenschaftler der Universität Karlsruhe untersuchten in jüngster Zeit zusätzlich den realistischeren Prozess des Brennens in mehreren Schritten. So kann auch die Veränderung des Wärmeausdehnungskoeffizienten der Keramik mit der Zahl der Brände berücksichtigt werden. Letzten Endes sollen die Simulationen sowohl Zahn-technikern wie Zahnärzten Regeln für eine schadensfreie Fertigung metallkeramischer Restaurationen an die Hand geben.

*Dr. Jürgen Lenz
Dr.-Ing. Matthias Thies
Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Universität Karlsruhe (TH)*

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.



Modellkronen zeigen, dass die Ausdehnungseigenschaften der Materialpartner zueinander passen müssen

Reisen bildet – Klischees bleiben

Erweitern Bildungs- und Studienreisen tatsächlich den Horizont? Eine Untersuchung zeigt, dass vorhandene Klischees und Vorurteile verstärkt werden

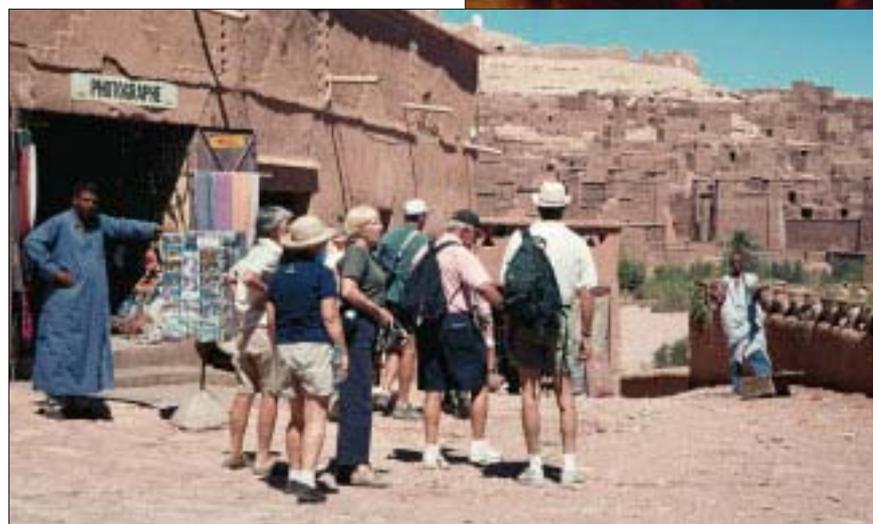
Innerhalb des Tourismus in Entwicklungsländern gibt es eine Form, die als äußerst sozialverträglich, umweltfreundlich und sogar als wichtiger Beitrag zur interkulturellen Kommunikation angepriesen wird: die Studien- und Bildungsreisen.

In der Tat: Bildungs- und Studienreisen werden von seriösen Reiseveranstaltern geplant; sie sind recht teuer und werden fachlich von einem deutschen (oder zumindest deutschsprachigen) Landesspezialisten geführt; die Teilnehmer gehören überwiegend der oberen Mittelschicht an (Lehrberufe, freie Berufe, Pensionäre); sie bereiten sich auf ihre Reisen meist intensiv vor, und zwar vor allem durch die Lektüre von Reiseführern.

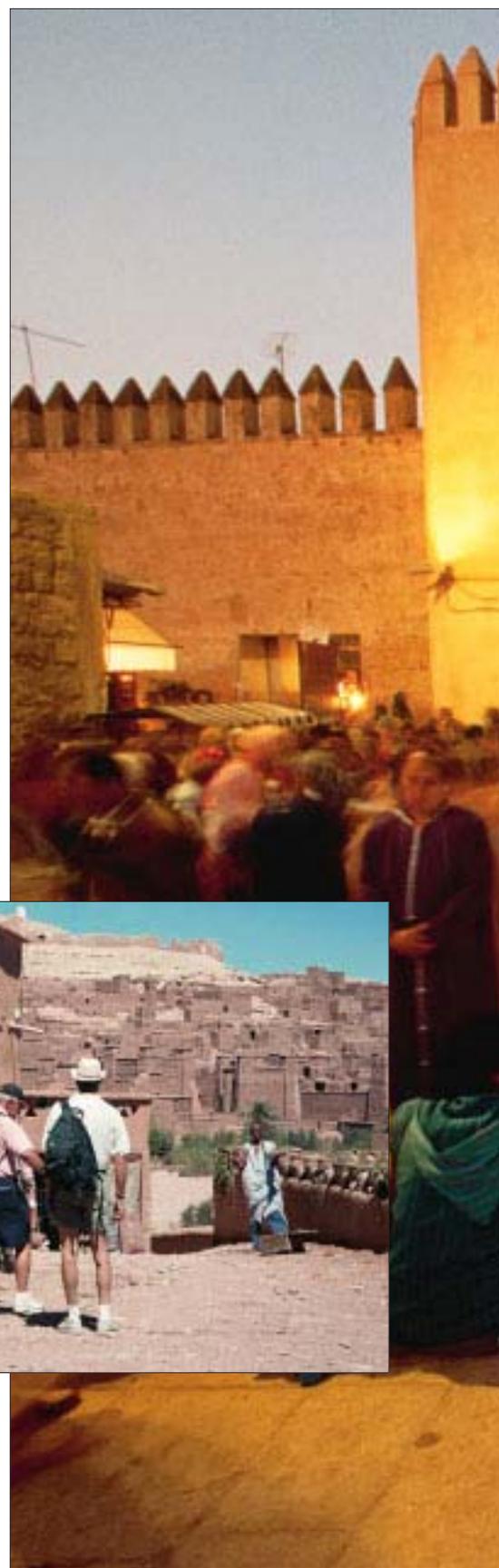
Marokko wurde als Land, für das die Funktion von Studienreisen empirisch untersucht werden sollte, ausgewählt. Dieser Staat in Nordafrika gilt als attraktives, vielseitiges Reiseland. Es gehört zum islamisch-orientalischen Kulturkreis. Die Vermittlung von Themenaspekten eines anderen Kulturkreises im Sinne einer Annäherung, eines Werbens für Sympathie gegenüber dem Andersartigen und sogar einer Heranführung an das Verstehen der Kultur wird damit im Idealfall zu einer „Aufklärungsarbeit“. Knapp 500 Studienreiseteilnehmer des größten einschlägigen Reiseveranstalters in Deutschland wurden vor und nach ihrer Reise in diesem Sinne befragt.

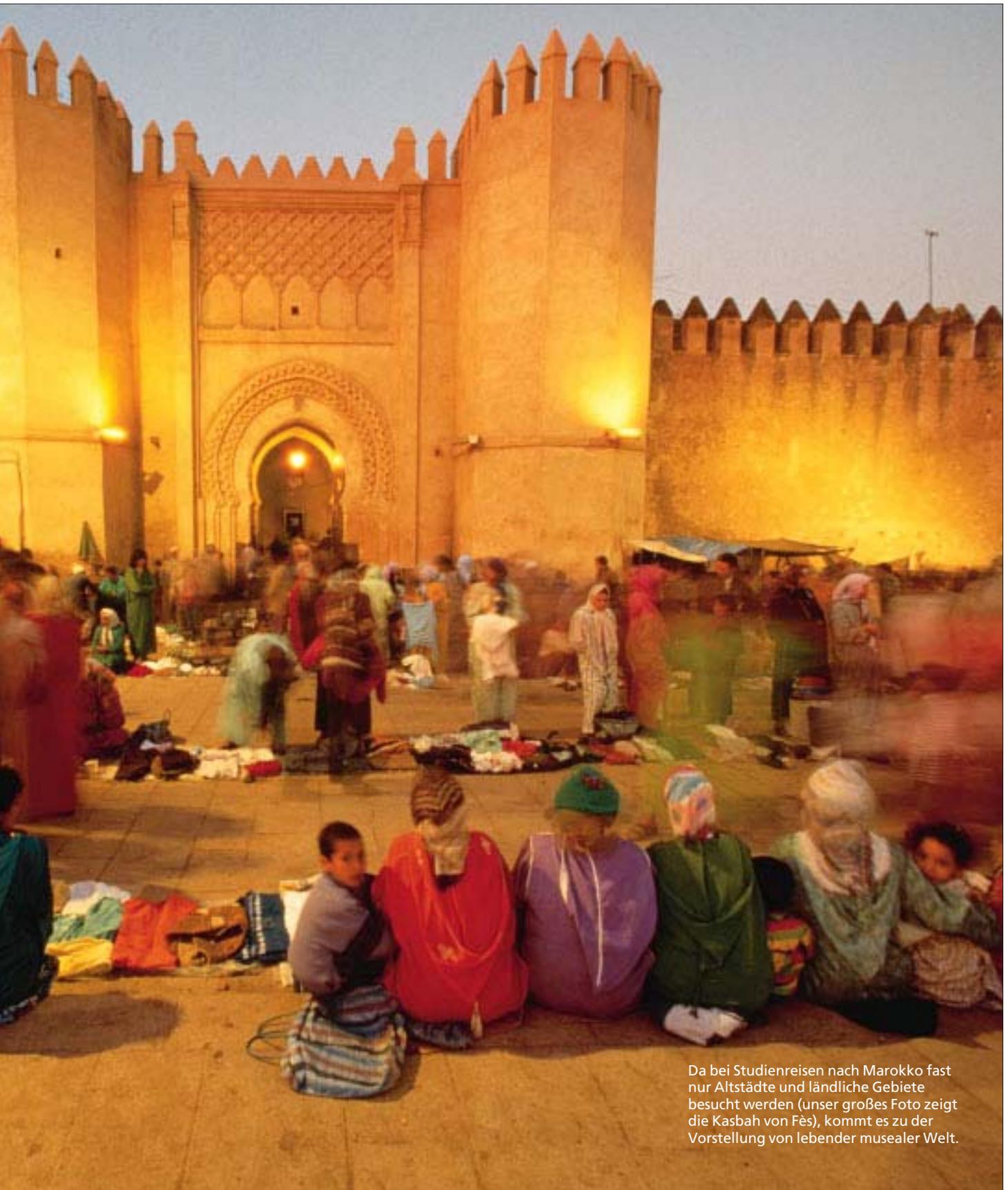
Die Fahrtrouten der Reiseveranstalter ähneln sich und sind seit Jahrzehnten fast unverändert geblieben. In Marokko konzentrieren

sie sich auf die vier Königsstädte (Rabat, Meknès, Fès und Marrakesch) und den Süden (AntiAtlas, Straße der Kasbahs, Oasen Drâa und Tafilalet). Weitere Regionen des Landes, die entweder landschaftlich und kulturell außerordentlich lohnend wären, darunter Rif, Mittelmeerküste, Beni Snassen, oder wirtschaftlich von Bedeutung sind, so Casablanca, Gharb, Phosphatplateau, Oujda, Nador, werden dagegen nicht angeboten. Thematisch dominieren historische Informationen sowie die Präsentation naturräumlicher Besonderheiten des Landes. Aktuelle soziale, wirtschaftliche und politische Ge-



sichtspunkte werden weder in den Reisekatalogen angekündigt, noch spielen sie während der Reise eine wichtige Rolle. Studienreisen vermitteln ein sehr selektives Bild des bereisten Landes und kein realistisches Abbild der gegenwärtigen





Da bei Studienreisen nach Marokko fast nur Altstädte und ländliche Gebiete besucht werden (unser großes Foto zeigt die Kasbah von Fès), kommt es zu der Vorstellung von lebender musealer Welt.

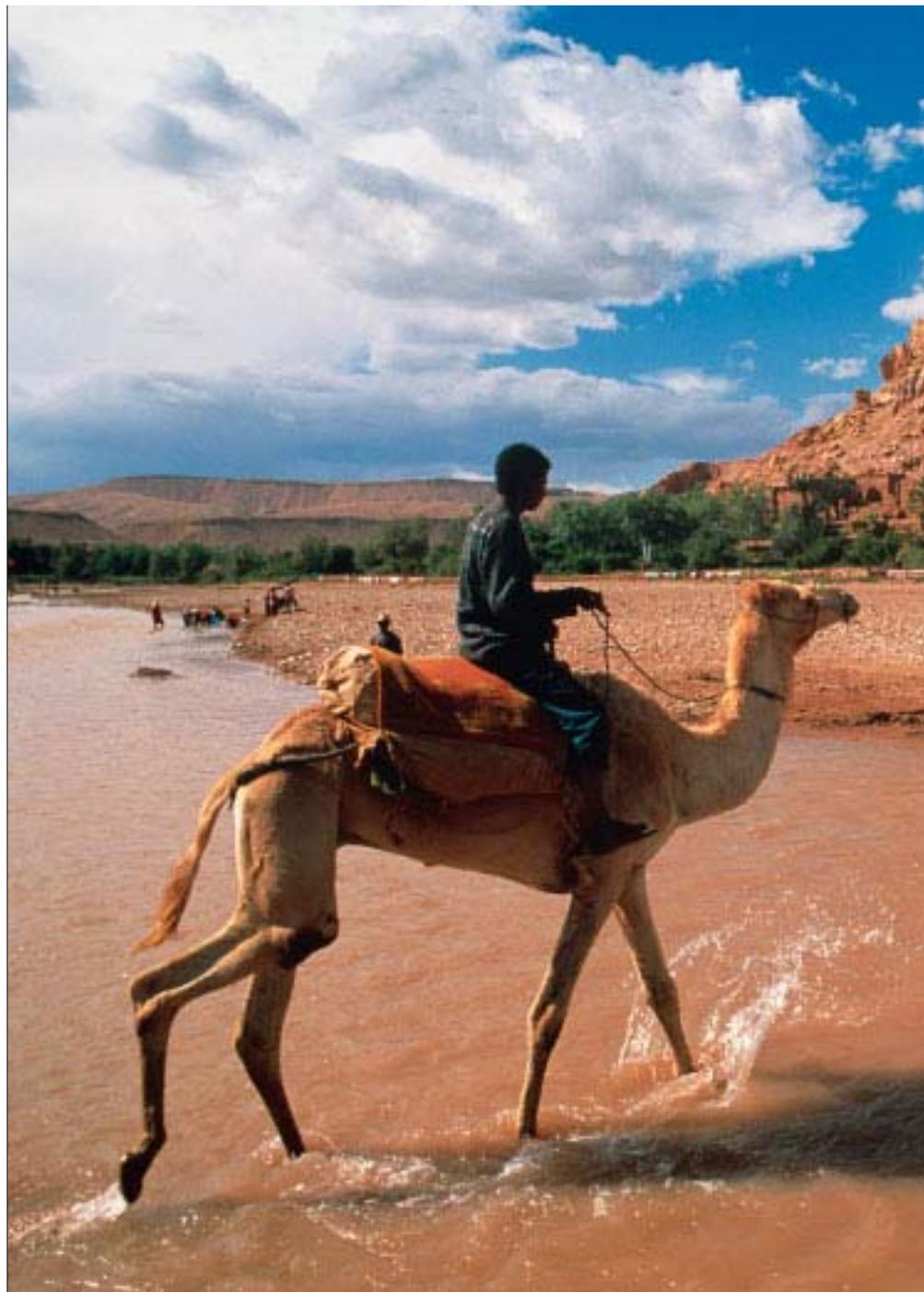
Gesellschaft. Es werden vorwiegend traditionelle, ja archaische und dabei zudem visuell wahrnehmbare Elemente mit malerischer, exotischer und ästhetisierender Ausrichtung vermittelt.

Die Teilnehmer an einer Studienreise nach Marokko haben einen bestimmten Erwartungshorizont: Sie nehmen an der Studienreise teil, weil sie eine qualifizierte Reiseleitung, ein hohes Informationsniveau und eine straffe Organisation erwarten. Speziell in Marokko erwarten sie, bizarre Landschaften zu sehen (79 Prozent), historische Stätten zu besichtigen (72 Prozent), Kunst und Handwerk kennenzulernen (63 Prozent) und das Flair des Orients zu verspüren (60 Prozent). Immerhin ein Drittel erhofft sich auch Kontakt mit der Bevölkerung; die Hälfte will die Wüste erleben; ein Viertel will sich mit Marokko als Entwicklungsland auseinandersetzen.

In ihrer Vorbereitung auf die Reise – und über 90 Prozent der Teilnehmer bereiten sich vor – stützen sich 90 Prozent der Studienreisenden auf Reiseführer; alle anderen Medien und Informationsquellen (Fernsehsendungen, Gespräche mit Marokko-Kennern, landeskundliche Literatur) treten demgegenüber in den Hintergrund. Die Reiseführerliteratur bestimmt somit zu einem erheblichen Teil das Vorwissen und die Vorstellungsbilder über das Land. Reiseführer, Reisekataloge und die Ausführungen des Reiseleiters bilden als Dreigestirn den Wahrnehmungs- und Bezugsrahmen für die Reisetilnehmer.

Vor Reiseantritt ist das Marokko-Image dennoch weniger durch Sachkenntnisse gekennzeichnet als durch Vorurteile. Stereotype wie Islam, Wüste, Exotik und Vorstellungen von fremdartigen Landschaften und Menschen dominieren. Auf dieser Basis ist ein vorurteilsfreies Kennenlernen, Erleben und Erfahren während der Reise nur noch bedingt möglich.

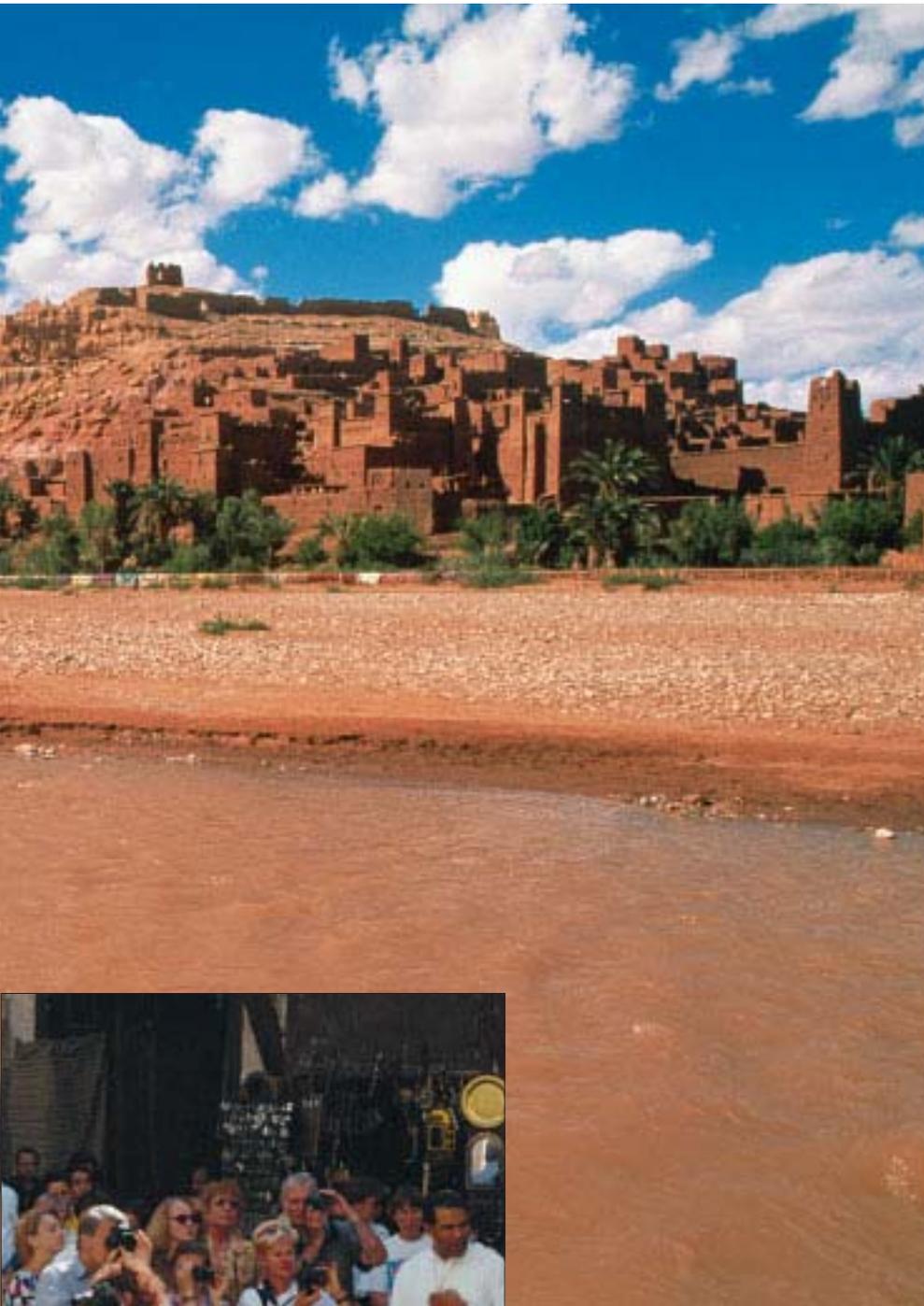
Das Sachwissen der Teilnehmer wird durch die Studienreisen deutlich verbessert. Auch die Klischees ändern sich durch die Reise, aber nur in geringem Maß. Vorurteile



bleiben weiterhin bestehen. Nach der Reise halten die Teilnehmer Marokko für kein attraktives Badeurlaubsziel mehr, für industriell stärker entwickelt als vermutet, für ein demokratisches, überraschend sauberes Land, mit sehr aufdringlichen Bewohnern, die Rechte der Frauen höher als vermutet, den Fundamentalismus für unbedeutender als angenommen.

Einige Assoziationen und Vorstellungen, die mit Marokko bereits vor der Reise eng verbunden waren, haben noch an Gewicht gewonnen: „Landschaft“ „traditio-

nelle ländliche Gesellschaft“, „Armut“, „Oasen“, „Wüste“, „traditionelle und moderne Landwirtschaft“, „traditionelle Wohnformen“ und „Elemente der Alltagswelt“. Da fast nur Altstädte und ländliche Gebiete befahren wurden, kommt es zu der Vorstellung von lebender musealer Welt. Abgenommen haben dagegen Assoziationen vom „Orient“, von „Islam“, von „kolonialzeitlicher Prägung“, „Kulturstätten“. Auch diese Veränderungen können auf die besuchten Orte bezogen werden: In den von Berbern bewohnten Gebieten



Bizarre Landschaften, historische Stätten (unser großes Bild zeigt die Kasbah von Ait Ben Haddou), Kunst, Handwerk und der Flair des Orients – das sind die Erwartungen an das (Studien-)Reiseland Marokko.

Südmarokkos findet man keine orthodoxen Spielarten des Islam; mit dem Fehlen arabischer Elemente sind auch die klassischen Orientasoziationen eher gering. Mehrere Bilder werden in der Wahrnehmung der Reiseteilnehmer bestätigt: „Wüste“, „Entwicklungs-

land“ und „bizarre Landschaften“. So werden auf einer Studienreise bereits vorhandene Klischees und Vorurteile verstärkt. Zwar kommt neues Wissen hinzu, das aber im Verhältnis zu den emotionalen Inhalten von untergeordneter Bedeutung ist. Es werden durch die Studienreise vor allem solche Aspekte wahrgenommen und in das bereits bestehende Marokko-Image integriert, die kein kulturelles Umdenken oder sogar ein Sich-Einlassen auf die fremde Kultur erfordern. Folglich ändert sich das Image insgesamt auch nur marginal. Bei den Teilnehmern ist offenbar der Wunsch nach einer dosierten und kontrollierten Begegnung mit der Fremde vorhanden – eine Erwartung, die von den Studienreisenanbietern ja durchaus geleistet wird.

Glaubt man an einen hohen emanzipatorischen Anspruch, der mit den Studienreisen verbunden sein soll (und der von Reiseveranstaltern suggeriert wird), dann ist das Ergebnis enttäuschend. Ob die Teilnehmer sich der Einseitigkeit, in der ihnen Land und Leute nahegebracht werden, bewusst sind? Reiseführer, -katalog und -leiter bekräftigen jeweils die Informationen des anderen, so dass zwangsläufig der Eindruck entstehen muss, sie seien zutreffend. Wie unseriös die Informationen der Reiseführer über Marokko sind, wurde schon ausführlich nachgewiesen. Dem Teilnehmer wird zwar kein negatives, aber doch ein sehr einseitiges und oft unzutreffendes Marokko-Bild vermittelt.

Es wäre für die Anbieter von Studienreisen durchaus möglich, ihre Programme zu ändern oder zu ergänzen. Aber offenbar ist die Nachfrage und die Zufriedenheit so hoch, dass es wenig Veranlassung für eine abweichende Strategie gibt.

Und trotz aller Kritikpunkte schneiden Studienreisen im Vergleich zu anderen Tourismusformen gut ab.

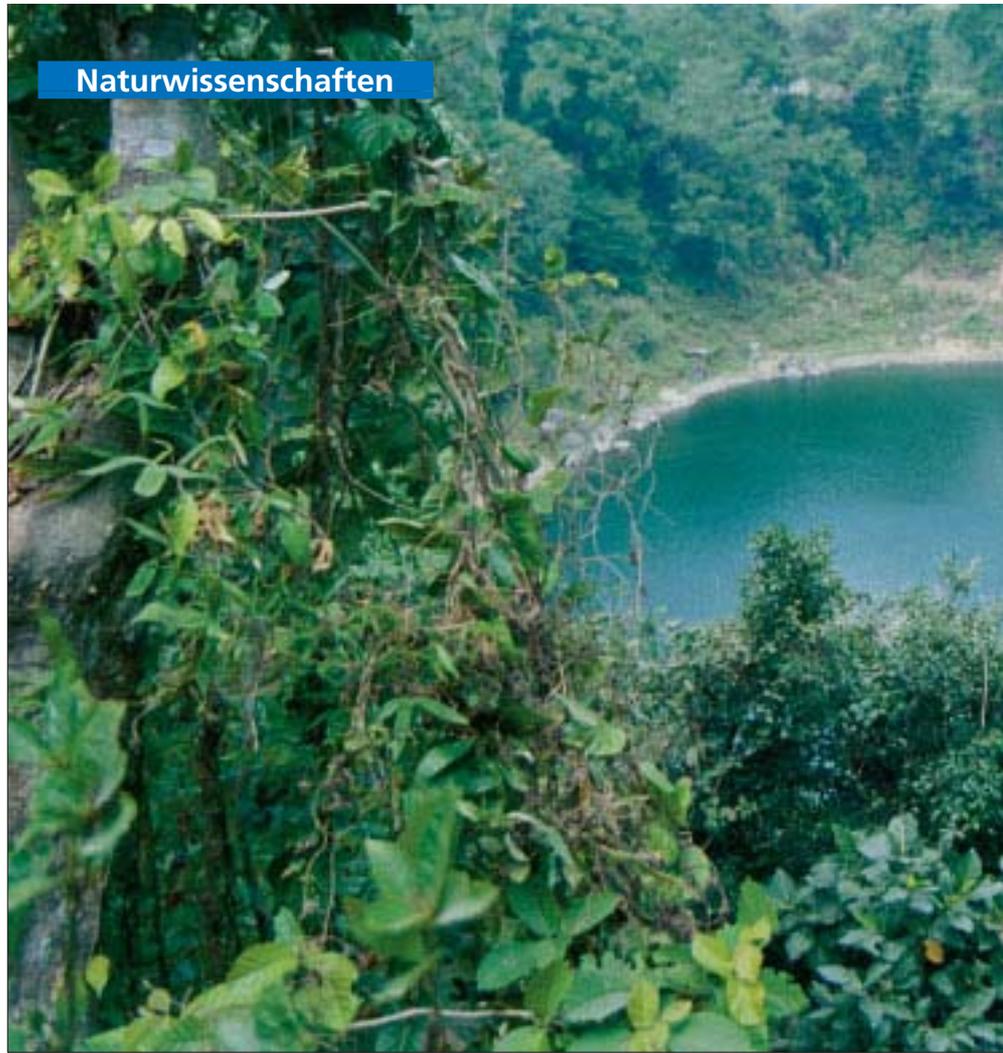
*Prof. Dr. Herbert Popp
Universität Bayreuth*

Das Projekt wurde im Normalverfahren der DFG gefördert.

Die Einflüsse des Menschen auf die künftige Entwicklung des Klimas und die Dynamik von Ökosystemen sind nur dann realistisch abzuschätzen, wenn deren erdgeschichtliche Entwicklung bekannt ist. Das Zeitfenster des Eozän – das ist das Erdzeitalter, das 54 bis 33 Millionen Jahre zurückliegt – ist dabei von herausragendem Interesse. Denn zu dieser Zeit herrschte letztmalig global ein weitgehend gleichmäßig warmes Klima, das Züge des von vielen erwarteten „Treibhausklimas“ trug. Zudem begann damals die explosive Entwicklung der Blütenpflanzen und Säugetiere. Damit sind erst- und einmalig im Verlauf der Erdgeschichte Voraussetzungen gegeben für einen unmittelbaren Vergleich heute ablaufender – und möglicherweise zukünftiger – Prozesse mit denen in einem vom Menschen noch unbeeinflussten „Treibhausklima“.

Das mitteleozäne Eckfelder Maar bei Manderscheid in der Vulkaneifel hat sich inzwischen als ideales Forschungsobjekt für derartige Fragestellungen erwiesen. In seinen Sedimenten sind nicht nur eine Fülle pflanzlicher und tierischer Chemo-, Mikro- und Makrofossilien überliefert, sondern auch ein breites Spektrum paläoklimatischer Informationen gespeichert. Das Eckfelder Maar ist ein einzigartiges erdgeschichtliches Archiv, in dem für einen mehrere zehntausend Jahre umfassenden Zeitabschnitt des Mittelozän natürliche Schwankungen des Klimas und deren Auswirkungen auf Flora und Fauna dokumentiert sind.

Das Eckfelder Maar und zwei weitere Vulkanbauten mitteleozänen Alters liegen am Südrand des Hocheifel-Vulkanfeldes. Dessen etwa vierhundert Vulkane bezeugen für die Region der Hocheifel eine rege, vom Mittelozän bis zum Untermiozän anhaltende vulkanische Aktivität. Sowohl das Pollenspektrum als auch die Säugetierfauna gestatten eine Einordnung des Eckfelder Maars in das mittlere Mittelozän mit einem geschätzten Alter von 44 bis 45 Millionen Jahren. Aus dem Eckfelder Maar waren schon länger verwitterte Vulkangesteine bekannt, von denen anzu-



Ein Klimaarchiv mit Haut und Haaren

Vor über 35 Millionen Jahren herrschte auf der Erde ein Klima, das Züge des von vielen erwarteten „Treibhausklimas“ trug. In den Sedimenten des Eckfelder Maars in der Eifel finden sich zahlreiche Zeugnisse jener Zeit



eine nur wenige Meter mächtige Abfolge heller, fein geschichteter Tone abgelagert. Über diesen setzen nahezu unvermittelt die dunkel gefärbten Ölschiefer ein, die über einen Zeitraum von vermutlich weniger als 250 000 Jahren hinweg gebildet wurden und allmählich den See verfüllt haben.

Als diese Käfer, Fische und Urpferdchen noch in der Nähe des heutigen Eifelstädtchens Manderscheid lebten, sah das dortige Maar etwa so aus wie das von üppiger tropischer Vegetation umgebene Maar Ranu Lading auf Java.



nehmen war, dass sie beim Ausbruch des Mares gefördert worden waren. Ein Ziel der 1996 durchgeführten Kernbohrungen war es deshalb, unverwitterte Vulkangesteine für radiometrische Altersbestimmungen zu gewinnen. Für eine vulkanische Schlacke wurde ein Alter von $44,3 \pm 0,4$ Millionen Jahren bestimmt. Dieses Alter stimmt mit den biostratigraphischen Schätzungen überein und markiert sowohl die Entstehung des Kraters selbst als auch das Alter der Fossilien. Damit

liegt für das europäische Eozän erstmals eine numerische Datierung einer kontinentalen Lebensgemeinschaft vor.

Nach Abschluss der Eruptionen füllte sich der bis 1000 Meter große und bis zu 210 Meter tiefe Krater des Eckfelder Mares rasch mit Grundwasser. Der so entstandene See hatte anfangs eine Tiefe von minimal 110 Meter, möglicherweise auch bis 150 Meter. An seinem Grund wurde über den groben vulkanischen Schuttmassen zunächst

Bei Einsetzen der Ölschieferbildung war der See chemisch geschichtet: Sein Wasserkörper bestand aus einem oberen, sauerstoffreichen Teil und aus einem unteren, sauerstoffarmen Teil mit einem hohen Gehalt gelöster Mineralien und entsprechend hoher Dichte. Diese Besonderheit verhinderte langfristig eine regelmäßige Umwälzung beider Wasserkörper wie auch eine Besiedlung des Seebodens zum Beispiel durch grabende Organismen. Dies erklärt die perfekte Überlieferung sowohl feinstere Sedimentstrukturen als auch der auf den Seeboden abgesunkenen Organismen. Das im Tiefenwasser

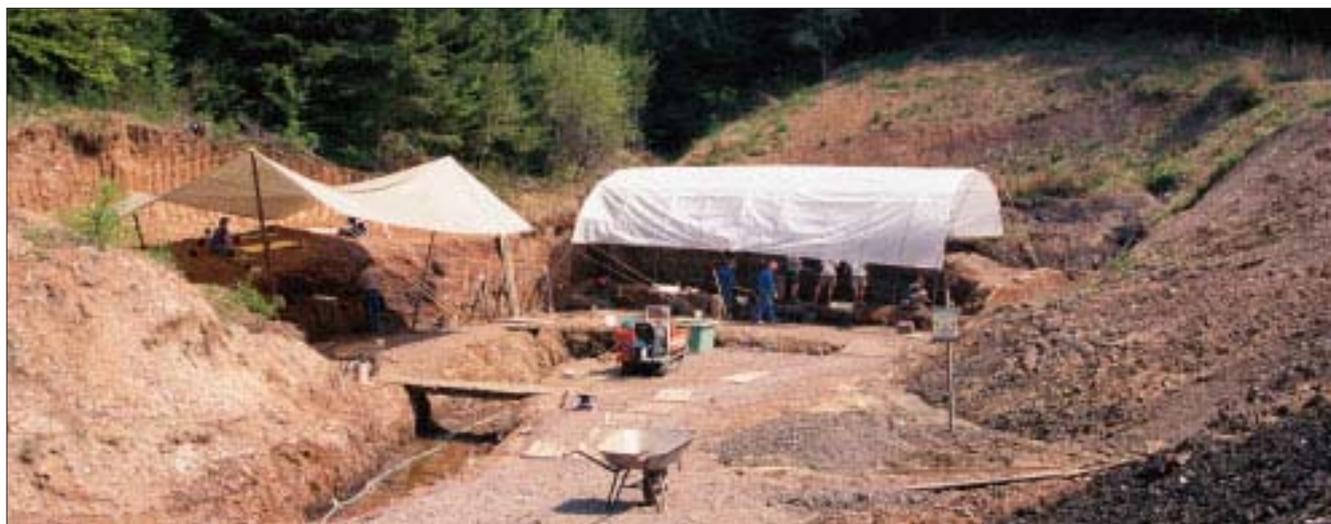
der im See selbst lebenden Organismen und die Beobachtung, dass es sich zumindest teilweise um Arten handelt, die schwankende Salzgehalte tolerieren, finden so eine Erklärung.

Landlebende Organismen sind dagegen arten- und individuenreich dokumentiert und meist exzellent erhalten. So sind etwa bestimmte Käferarten mit ihren originären Strukturfarben und Säugetiere mit „Haut und Haaren“ und selbst „Mageninhalt“ überliefert.

Die Flora umfasst neben Algen, Pilzen, Moosen und Farnen eine Vielzahl von Samenpflanzen. Etwa zweihundert allein aus einem nur

keit bislang nur isoliert bekannter Pollenformen zu klären. Zum anderen liefern sie Informationen über die Koevolution von Blütenpflanzen und Insekten. In welcher Qualität Interaktionen zwischen beiden Gruppen unmittelbar aus den Fossilien erschließbar sind, zeigt eine „Honigbiene“. Sie trägt noch heute ihre letzte Pollenfracht auf Körper und Hinterbeinen.

Auch Funde so unterschiedlicher Gruppen wie Süßwasserschwämme, Muscheln, Schnecken, Muschelkrebse, Spinnentiere, Insekten, Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel oder Säuger dokumentieren das außergewöhnliche Überliefe-



nur eingeschränkt ablaufende Recycling des organischen Materials ermöglichte selbst die Überlieferung komplexer organischer Moleküle. Zwar haben sicherlich die anfangs noch steilen und instabilen Uferzonen die Besiedelbarkeit der Uferregion des Sees für Wasserpflanzen und bodenlebende Organismen erheblich einschränkt, doch hatten offensichtlich auch die speziellen chemischen Verhältnisse im Tiefenwasserkörper einen erheblichen Einfluss auf die Besiedelbarkeit des Oberflächenwassers: Gelegentliche Uferabbrisse oder zum Beispiel starke Stürme verursachten eine teilweise Durchmischung beider Wasserkörper. Dies führte zu einer episodischen, mehr oder weniger gravierenden Vergiftung des Oberflächenwassers. Die vergleichsweise geringe Artenvielfalt

Im Eckfelder Maar am Südrand der Vulkan-Eifel öffnet sich Wissenschaftlern ein Zeitfenster zum 54 bis 33 Millionen Jahre zurückliegenden Eozän, dem Zeitraum, in dem letztmalig weltweit ein „Treibhausklima“ herrschte.

etwa drei Meter mächtigen Profilabschnitt nachgewiesene Gattungen zeugen von einem artenreichen Wald, dessen ufernahe Saumgesellschaften offensichtlich von verschiedenen Lianen geprägt waren. Die Zahl der Blätter, Früchte und Samen geht in die Tausende. Inzwischen konnten auch annähernd achthundert Blüten und Blütenstände unterschiedlicher Familienzugehörigkeit geborgen werden. Deren Bedeutung liegt zum einen darin, dass ihre Staubbeutel meist noch Pollen enthalten. Sie können so helfen, die systematische Zugehörig-

keitspotenzial der Sedimente des Eckfelder Maares. Am häufigsten und artenreichsten sind erwartungsgemäß die Insekten, die bereits mit zwölf Ordnungen vertreten sind. Amphibien sind dagegen nur durch ein Teilskelett eines Frosches belegt. Das ist zunächst ein überraschender Befund, der allerdings verständlich wird, wenn man die steilen Uferböschungen des Sees und seinen besonderen Wasserchemismus berücksichtigt. Unter den zahlreichen Funden von bereits mehr als zwanzig verschiedenen Säugetier-Arten verdienen erste Reste zweier Primaten-Arten und fünf Skelette der Urpferd-Gattung *Propalaeotherium* besondere Erwähnung. Wichtig sind auch die ersten überhaupt gefundenen undeformierten Schädel dieser Gattung.

Im Mittelozän herrschte weltweit bis in hohe Breiten ein gleichmäßig warmes Klima. Dies bestätigen auch Bioindikatoren unter den Eckfelder Fossilfunden, wie zum Beispiel Palmen und Krokodile. In Eckfeld sind jedoch sehr viel detailliertere Erkenntnisse über das mittelozäne Klima zu gewinnen. Sedimente von Maarseen sind nämlich, wie Untersuchungen heutiger Maare gezeigt haben, hochauflösende Klimaarchive: Es handelt sich um sogenannte Warvite, deren Feinschichtung auf jährlichen und selbst saisonalen Periodizitäten beruht, das heißt, in ihnen sind sedimentologische und biologische Ereignisse mit der maximal denkbaren zeitlichen Auflösung gespeichert. Inzwischen erbrachten Spektralanalysen von feingeschichteten Ölschieferproben aus Eckfeld den Nachweis hochfrequenter solarer Periodizitäten. Dies, zusammen mit der Tatsache, dass aufgrund der ehemaligen Breitenlage von Eckfeld (etwa 42° – 44° N) von einer ausgeprägten Saisonalität ausgegangen werden kann, erlaubt den Schluss, dass auch die Bildung des Eckfelder Ölschiefers einer Jahresrhythmik folgt. Es handelt sich also mit größter Wahrscheinlichkeit ebenfalls um einen Warvit. Die noch laufende spektralanalytische Auswertung der 1996 und 1999 erbohrten Ölschieferkerne läßt deshalb auch Nachweise längerer extraterrestrischer Periodizitäten (Milankovitch-Zyklen) erwarten.

Für das gesamte Ölschieferprofil wurde auch die Magnetisierbarkeit des Gesteins in Schritten von einem Millimeter mit einer räumlichen Auflösung von 4 Millimetern bestimmt. Geht man von einer mittleren Sedimentationsrate der Ölschiefer von 0,4 Millimetern pro Jahr aus, entspricht das einer zeitlichen Auflösung von etwa zehn Jahren. Die so gewonnene Kurve erlaubt eine Erfassung mittel- bis langfristiger klimatischer Schwankungen. Erste Hinweise auf Klimaschwankungen ergaben sich bereits aus Analysen der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope des im Eckfelder See gebildeten Eisenkarbonates. Aus den neuen Kernen stehen nun

umfangreiche Probenreihen für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Die derzeit laufenden interdisziplinären Auswertungen paläoklimatischer Daten ermöglichen die detaillierte Rekonstruktion von Klimaschwankungen und die Analyse möglicher Ursachen. Die Verknüpfung dieser Paläoklimadaten mit den allein aus Grabungen zu gewinnenden Funden und Befunden eröffnet für den vom bisherigen Grabungsprofil repräsentierten Zeitabschnitt von etwa 11 000 Jahren die Möglichkeit, die Auswirkungen von Klimaschwankungen auf das Ökosystem von Eckfeld und die Dyna-



Im Eckfelder Maar wurde diese Urpferd-Stute mit Fötus gefunden. Bei der dunklen Masse in der Leibeshöhle handelt es sich um dicht gepackte Blattfragmente.

mik dieser Veränderungen zu analysieren. Die bereits mehr als 30 000 geborgenen Fossilien bilden hierfür eine unverzichtbare Datenbasis.

Durch günstige Umstände haben sich in der Westeifel – neben dem Eckfelder Maar – noch weitere Sedimentvorkommen aus dieser Zeit erhalten. So konnten das mittelozäne Relief und das regionale Gewässernetz in groben Zügen rekonstruiert werden. Damit können die im Eckfelder Maar gewonnenen Befunde in einen paläogeographischen Bezug gestellt werden: Das bei Kelberg, etwa 20 Kilometer

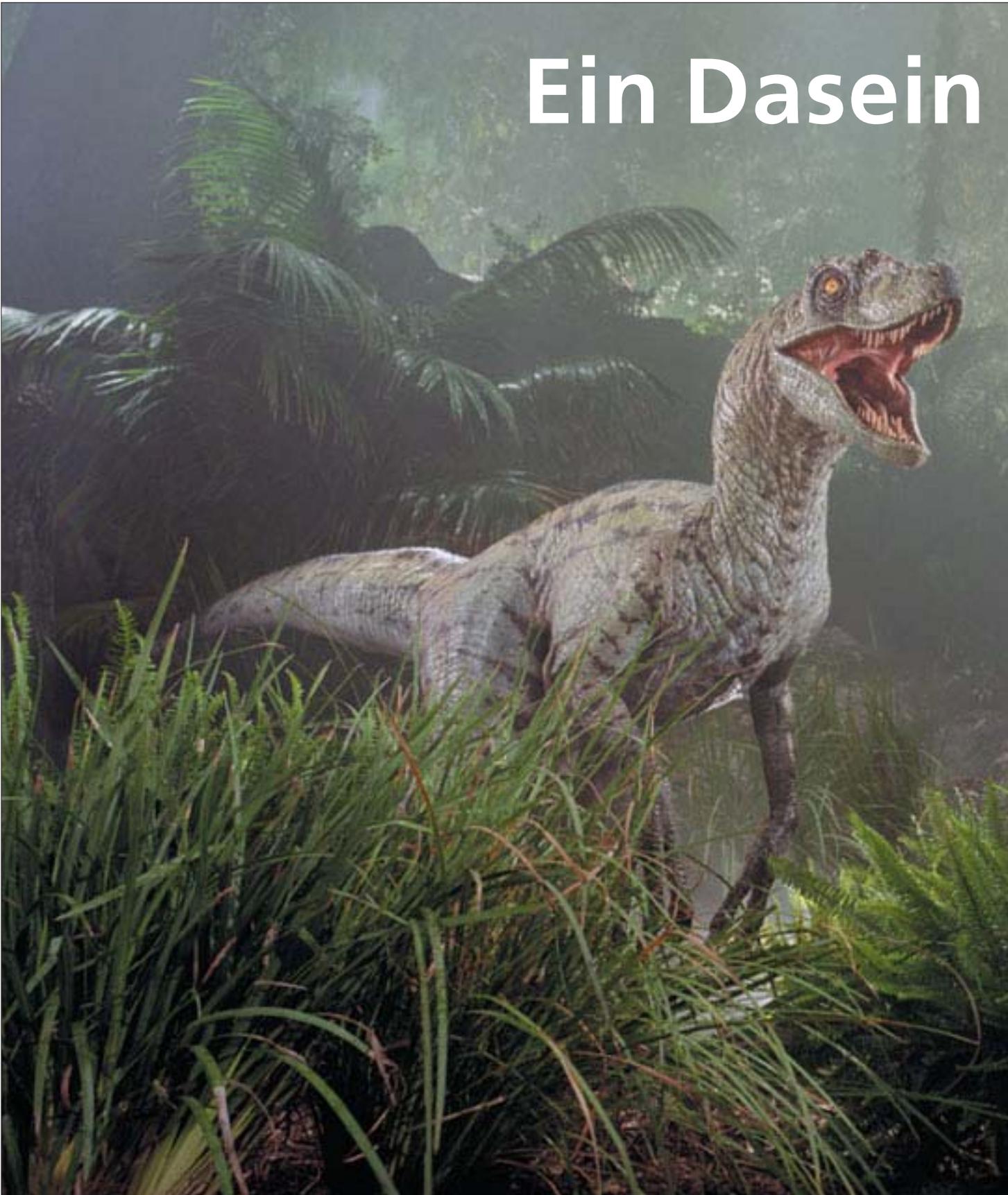
nördlich von Eckfeld gelegene Zentrum des Tertiären Hocheifel-Vulkanfeldes überragte die umgebende Landschaft um mehrere Hundert Meter. Hier lag das Quellgebiet der Manderscheider Talung. Sie folgte westlich Eckfeld als Saumfluss der Schichtstufe des Buntsandsteins. Diese bis zu 200 Meter hohe Geländestufe war damals wahrscheinlich weniger als 4 Kilometer vom Eckfelder Maar entfernt. Die laufenden Grabungen erbrachten bereits erste Hinweise auf eine zeitweilige Anbindung des Eckfelder Maares an die Manderscheider Talung. Diese mündete wenige Kilometer südwestlich Eckfeld, im Arenrather Becken, in die Ur-Saar, deren Ablagerungen – Sande und Kiese mit gelegentlich eingeschalteten pflanzenführenden Tonlinsen – in der Westeifel noch heute weit verbreitet sind. Die überlieferten Pflanzenfossilien – tierische Reste waren bislang nicht nachzuweisen – erlauben eine Rekonstruktion der Auen-Vegetation.

Hinsichtlich seiner Sedimente, seiner Fossilien und deren Erhaltung zeigt Eckfeld größte Übereinstimmungen mit Messel. Zieht man in Betracht, dass es sich nach neuesten Befunden bei Messel ebenfalls um ein Maar handelt, finden diese Gemeinsamkeiten eine einfache Erklärung. Messel entstand allerdings im unteren Mittelozän, das heißt, es ist vier bis fünf Millionen Jahre älter und öffnet ein Fenster in eine frühere Phase des eozänen Klimaoptimum. Die fundstellenübergreifende Bearbeitung beider Vorkommen bietet somit einzigartige Möglichkeiten multidisziplinärer Forschung innerhalb des Zeitfensters Mittelozän – der Epoche, in der letztmals weltweit ein „Treibhausklima“ geherrscht hat.

*Dr. Herbert Lutz
Dr. Franz-Otto Neuffer
Naturhistorisches Museum Mainz
Landessammlung für Naturkunde
Rheinland-Pfalz*

Das Forschungsvorhaben „Eckfelder-Maar“ wurde von der DFG im Normal- und im Projektbündelverfahren gefördert.

Ein Dasein

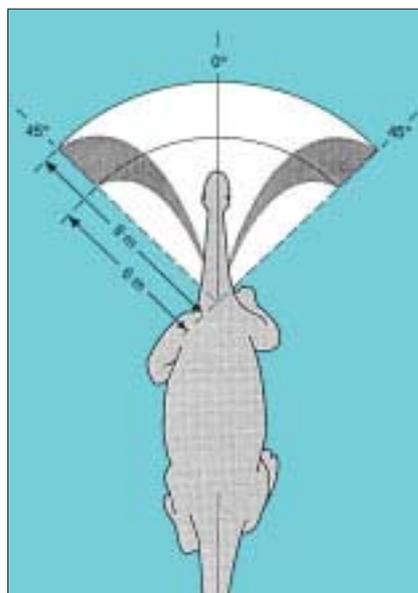
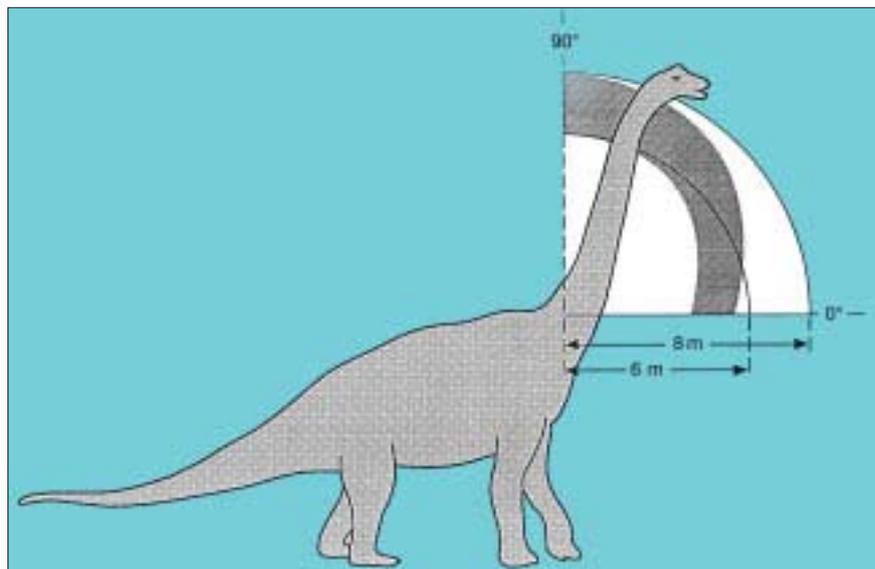


auf großem Fuß

Auf der Kinoleinwand feierten die Dinosaurier längst ein vielbeachtetes „Comeback“. Doch wie die Giganten der Frühzeit tatsächlich lebten, verrät eine Untersuchung Berliner Wissenschaftler



Die Körpermasse ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal bei fossilen und lebenden Organismen. Das Spektrum der heute lebenden Organismen reicht von zellwandlosen Bakterien mit einer Masse von einem zehnbillionstel Gramm bis zum erwachsenen Blauwal mit einem Gewicht von über 100 Tonnen. Bei den fossilen Organismen stehen die Dinosaurier geradezu sprichwörtlich für alles Gigantische, Überdimensionierte. Im Rahmen der deutschen Tendaguru-Expedition in den Jahren 1909 bis 1913 wurden in Tansania (Ostafrika) fast vollständige Skelettreste von den großen Dinosauriern *Brachiosaurus* und *Dicraeosaurus* gefunden. Die Fundstücke stammen aus der späten Jurazeit vor etwa 140 bis 150 Millionen Jahren und sind heute der Mittelpunkt im Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität in Berlin. Sie waren Ausgangspunkt für neuere Studien zur Lagerstätte sowie zur Paläobiologie und Paläophysiologie großer, pflanzenfressender Dinosaurier. Die Arbeitsgruppe an der Freien Universität Berlin ist dabei der Frage nachgegangen, ob sich mit Hilfe moderner, dreidimensionaler photogrammetrischer Verfahren die Körpermasse der ausgestellten Skelette erfassen lässt. Ist die Körpermasse eines Organismus bekannt, können Physiologen anhand von allometrischen Formeln funktionelle und morphologische Größen von Organen oder Organsystemen abschätzen. Die Allometrie als Forschungsfeld untersucht demnach, wie Strukturen oder Funktionen eines Organismus mit seiner Körpermasse zusammenhängen. Damit trägt sie zum Verständnis des Aufbaus biologischer Organismen bei. Im Falle des ausgestellten *Brachiosaurus*-Exemplars im Museum für Naturkunde in Berlin allerdings lagen die Untersuchungsergebnisse zur Körpermasse zwischen 15 und 100 Tonnen und waren damit für Berechnungen auf der Grundlage von Formeln der Wachstumswissenschaft (Allometrie) viel zu ungenau. Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Berlin führte deshalb Vermessungen der Skelette sowohl mit klassi-



Die Zeichnungen zeigen Rekonstruktionen der vermutlichen Stellung und Beweglichkeit des Halses von *Brachiosaurus*. Mit schwingenden Bewegungen in vertikaler und horizontaler Richtung erschloss sich die Urechse ihren riesigen Nahrungsraum.

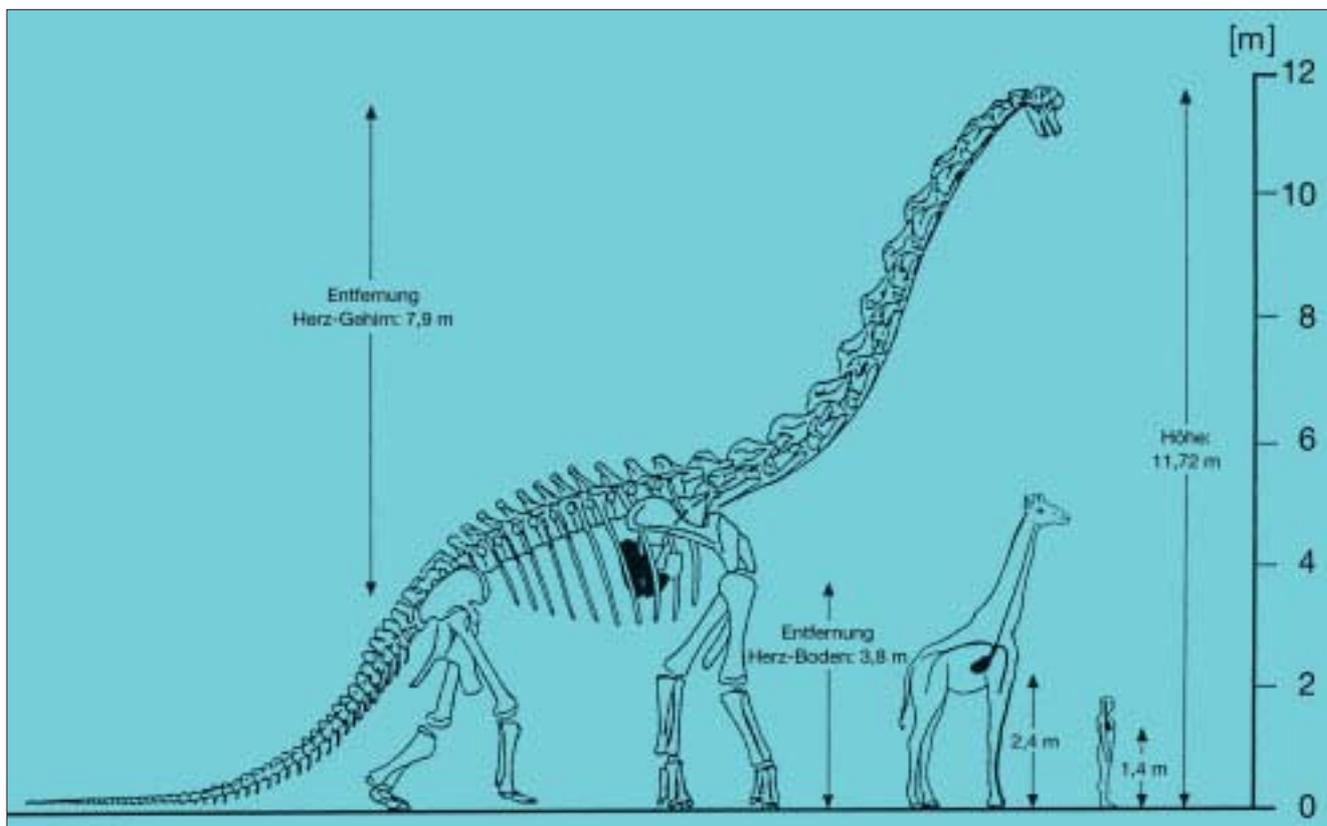
sehen Verfahren als auch mit einem neuen Laserscanner für Großobjekte durch. Am Beispiel des *Brachiosaurus* sollen exemplarisch die Vorgehensweise und die sich hieraus ergebenden Rückschlüsse auf die Lebensweise an Land lebender, großer, pflanzenfressender Dinosaurier gezeigt werden.

Bei der klassischen Photogrammetrie wurden zunächst Messpunkte auf dem Skelett montiert, um dann mit Stereoprojektoren eine dreidimensionale Rekonstruktion des Skeletts durchführen zu können. Der Laserscanner für Großobjekte hingegen wurde seitlich von *Brachiosaurus* platziert und tastete das Skelett zeilenweise ab. Zur Berechnung der Körperoberfläche und der Körpermasse wurden auf der Basis des vorhandenen Skeletts die vermutlichen Körperumrisse hinzugefügt. Die so erhaltenen Rekonstruktionen ließen sich anschließend in größere Segmente und Elemente zerlegen. Von jedem einzelnen Teil wurden das Volumen und die Oberfläche geometrisch berechnet. Für *Brachiosaurus* ergab sich eine Körperoberfläche von rund 140 Quadratmetern und ein Körpervolumen von 74,4 Kubikmetern. Aus Vergleichsuntersuchungen an Krokodilen ist bekannt, dass ein Kubikmeter Gewebewolumen circa 1000 Kilogramm Körpermasse beim lebenden Organismus entspricht. Die Kenntnis der Körperdimensionen und Körpermasse in Verbindung mit allometrischen Formeln aus der vergleichenden Physiologie ermöglichte dann weitere Rekonstruktionen in Bezug auf das Herz-Kreislauf-System, den Stoffwechsel und einzelne physiologische Größen. Beim *Brachiosaurus* etwa ist von einem vierkammerigen Herz mit getrenntem Körper- und Lungen-

kreislauf auszugehen. Das Blutvolumen des *Brachiosaurus* dürfte rund 3000 Liter (beim Menschen 5 Liter) und das Herzgewicht circa 230 Kilogramm betragen haben. Der Herzmuskel der linken Kammer muss wesentlich dicker als der der rechten Herzkammer, das Schlagvolumen von rund 15 Litern (beim Menschen 70 Milliliter), bei einer geringen Frequenz von etwa 17 Schlägen pro Minute (beim Menschen 70 Schläge pro Minute) relativ klein gewesen sein. Die linke Herzkammer musste einen Druck von circa 600 mmHg aufbringen, um das Blut ins Gehirn des Sauriers zu pumpen – einer hydrostatischen Säule von circa acht Metern entsprechend. Eine vergleichbare Druckerarbeit des Herzens kennt man im heutigen Tierreich nicht mehr. Unter den landlebenden Säugetieren findet man bei den Giraffen mit circa 260 bis 280 mmHg die höchsten Blutdruckwerte. Ähnlich wie bei diesen Tieren müssen die betroffenen Blutgefäße des *Brachiosaurus* von hoher Stabilität gewesen sein, um bei extremen Druckspitzen nicht zu zerreißen. Die Halsschlagadern (Carotiden) hatten eine Länge von rund 10 Metern. Diese körperbaulichen Rahmenbedingungen setzen einer Anpassung an höhere Leistungsanforderungen enge Grenzen.

Es gehört zu den Besonderheiten des Berliner *Brachiosaurus*-Exemplars, dass ein nahezu vollständiger Ausguss des linken Gleichgewichtsorgans oder vestibulären Labyrinths erhalten ist. So war es auch eines der Untersuchungsziele, die Dimension dieses Organs zu analysieren. Alle bekannten Wirbeltiere halten ihr körperliches Gleichgewicht und ihre Orientierung im Raum mit Hilfe dieses vestibulären Systems aufrecht. Bei den Vertretern der meisten Arten befindet es sich im Innenohr, seine Dimensionen und nervlichen Verbindungen passen sich im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung optimal dem jeweiligen Lebensraum an. Untersuchungen an diesem Organ sind von





besonderem Interesse gewesen, weil sie es erlauben, die Häufigkeit der schwingenden Kopfbewegungen zu schätzen und mit der vermuteten Frequenz der Rumpf- und Halsbewegungen zu vergleichen. Diese Daten sind wichtig, um natürliche Bewegungsmuster des *Brachiosaurus* zu rekonstruieren. Ferner können die Ergebnisse der Dimensionsanalyse des Gleichgewichtsorgans mit denen aus früheren allometrischen Studien verglichen werden. Solche Untersuchungen zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen den Dimensionen der Bogengänge des Gleichgewichtsorgans, der Körpermasse sowie dem natürlichen Bewegungsrepertoire der jeweiligen Spezies besteht. Unsere Berechnungen am Labyrinth des *Brachiosaurus* haben gezeigt, dass sich aus den Dimensionen des Labyrinths auf eine Körpermasse in der Größenordnung von 50 bis 80 Tonnen zurückschließen lässt. Die photogrammetrisch ermittelte Körpermasse von 74,4 Tonnen stimmt hiermit überein. Aus dem geschätzten Spektrum der 68 Schwingungsfrequenzen des Laby-

Enorme hydrostatische Kräfte waren nötig, um den Blutkreislauf des *Brachiosaurus* aufrecht zu erhalten. Unsere Zeichnung zeigt den Dinosaurier im Vergleich zu Mensch und Giraffe.

rinths ist zu schließen, dass der *Brachiosaurus* im Bereich der Atlasregion des Halses mit dem Kopf nickte. Weiterhin liegt der Schluss nahe, dass horizontale Bewegungen überwiegend um einen niedrigeren Schwerpunkt erfolgten. Aus den vorliegenden Ergebnissen konnte der Raum der Nahrungsaufnahme auf 150 Kubikmeter ermittelt werden. Die Bezahnung des *Brachiosaurus* lässt darauf schließen, dass er ein Pflanzenfresser war. Untersuchungen des Knochenmaterials zeigen zudem, dass bei allen Tendaguru-Sauropoden Wachstumsraten auftraten, die für Säugetiere typisch sind. Geht man hiernach von einem hohen Ruhestoffwechsel für *Brachiosaurus* aus, so dürfte er circa 50 Liter Sauerstoff pro Minute verbraucht haben. Im Vergleich dazu benötigt der Mensch 0,3 Liter in der Minute. Der tägliche Nahrungsbedarf für diesen Organismus betrug

hierbei vermutlich weniger als ein Prozent der Körpermasse, das sind rund 350 Kilogramm pflanzliche Nahrung. Ein Afrikanischer Elefant benötigt dagegen lediglich 150 Kilogramm pro Tag. Bei unseren Berechnungen zur benötigten täglichen Nahrungsmenge gehen wir davon aus, dass pflanzliche Bestandteile der Nahrung zu fast zwei Dritteln aus Wasser bestehen und lediglich ein Drittel energetisch verwertbare Trockenmasse enthalten. Große Säugetiere können von dieser Trockenmasse allerdings nur ungefähr die Hälfte tatsächlich durch den Magen-Darm-Trakt aufnehmen. Für *Brachiosaurus* ergibt sich hieraus, dass pflanzliche Nahrungsquellen (wie etwa Baumfarne oder Coniferen) an seinem Lebensort permanent und reichhaltig zur Verfügung gestanden haben müssen.

PD Dr. med. Hanns-Christian Gunga
 Prof. Dr. med. Karl Kirsch
 Freie Universität Berlin

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert.

Zarathustra? Bei diesem Namen leuchten die Augen von Michael Stausberg (36), der eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe der DFG am Institut für Religionswissenschaft der Universität Heidelberg leitet. Die sagenumwobene Gestalt Zarathustras und seine vor 3000 Jahren im alten Iran entstandene Religion, eine der ältesten der Weltgeschichte, fesseln den jungen Religionswissenschaftler. Im Mittelpunkt der Religion Zarathustras steht der Gott Ahura Mazda („der weise Meister“), dessen Wirken die gute Schöpfung trägt und der gegen die finsternen, zerstörerischen und dümmlichen Mächte des Bösen vorgeht. Durch Wahrhaftigkeit, Reinheit, Großzügigkeit und das Ausüben von Ritualen haben die Gläubigen an dem Wirken ihres Gottes Anteil. Heute leben noch etwa 120 000 Zarathustrier (oder Zoroastrier) hauptsächlich im Iran, in Indien sowie in einigen Staaten der westlichen Welt.

Michael Stausberg, 1966 in Köln geboren, hat Vergleichende Religionswissenschaft in Bonn, Tübingen, Bergen und Rom („La Sapienza“) studiert. Er war Stipendiat im DFG-Graduiertenkolleg „Interkulturelle religionsgeschichtliche beziehungsweise religiöse Studien“ und wurde 1995 mit einer viel beachteten Studie über das Bild Zarathustras im frühneuzeitlichen Europa („Faszination Zarathustra“) an der Universität Bonn promoviert. Der Weg des 29-jährigen Postdoktoranden führte anschließend nach Uppsala, an eines der ältesten Zentren für Religionsgeschichte in Europa. Dort forschte und lehrte er als Feodor Lynen-Stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung. Aus einem zunächst einjährigen wurde schließlich ein vierjähriger Schweden-Aufenthalt. Als er nach Deutschland zurückkehrte, besaß er auch die „Dozenten-Kompetenz“, das schwedische Äquivalent zur deutschen Habilitation.

Dozent Dr. Michael Stausberg konnte in Deutschland unmittelbar in die zweite Phase des Emmy Noether-Programms einsteigen. Das Programm möchte besonders qualifizierten Nachwuchswissenschaftlern einen Weg zu früher wissenschaftlicher Selbständigkeit eröffnen. In der ersten Phase des Programms

gehen die Stipendiaten zwei Jahre lang ins Ausland, um dort neue Forschungsmethoden zu erlernen. Zurück in Deutschland, gründen die Forscher in der zweiten Phase eine eigene wissenschaftliche Arbeitsgruppe. Seit April 2000 leitet Michael Stausberg an der Ruprecht Karls-Universität Heidelberg die fünfköpfige DFG-Nachwuchsgruppe „Ritualistik und Religionsgeschichte“ (vgl.: <http://www.religionswissenschaft.uni-heidelberg.de/DFG1.htm>).

disziplinären Arbeitsgruppe in einem so interessanten Forschungsmilieu an einer deutschen Universität zu positionieren“, unterstreicht Stausberg. Er spricht von „drei großartigen gemeinsamen Jahren“. Und er betont die ungewöhnlich kreativen und vielfältigen Möglichkeiten der Gruppenarbeit sowie die Verantwortung gegenüber seinen Mitarbeitern. Denn: „Ich kann doch nicht so tolle Leute ins Boot holen, mit ihnen auf eine gemeinsame Forschungsreise

Also sprach Zarathustra...

Der Religionswissenschaftler Michael Stausberg ist dem Mythos der sagenumwobenen Gestalt auf der Spur



Ihr Ziel: die Praxis zoroastrischer Rituale zu analysieren, zu dokumentieren und in ihrer Vielfalt zu verstehen. Dabei geht es um Gebete, Priestertätigkeiten, Hochzeits- und Bestattungsrituale oder Wallfahrten, aber „nicht in hypothetischer Reinkultur, sondern in ihren jeweiligen historischen und kulturellen Kontexten, in ihren Veränderungen und Rezeptionsweisen“, erläutert Stausberg. Darüber hinaus beschäftigt sich die Nachwuchsgruppe mit grundsätzlichen Fragen der Ritualtheorie.

„Ohne das Emmy Noether-Programm der DFG hätte ich nicht die Chance gehabt, mich mit einer inter-

gehen – und dann so tun, als ginge es einzig um meine eigene Karriere.“

Seine eigenen Aussichten auf eine Professur sind gerade in einem kleinen Fach und „angesichts der minimalen Transparenz von Berufungsverfahren an deutschen Universitäten nicht wirklich planbar“, wie der Vater von drei Kindern betont. Religionswissenschaftliche Lehrstühle an den Universitäten Uppsala, Tübingen und Bern hat er bereits vertreten. Sicher ist, dass er auch weiterhin dem „Mythos Zarathustra“, dem Zoroastrismus und den Ritualen auf der Spur sein wird.

Rembert Unterstell

Von Feuersalamandern und neuen Arten

Was man schon immer über den farbenprächtigen Feuersalamander wissen wollte: Wie eine neue Art entsteht und sich an einen Lebensraum anpasst, ist nicht nur für den Biologen aufschlussreich

Eines der zentralen Themen der Evolutionsbiologie widmet sich der Frage, wie neue Arten entstehen und wie sie sich voneinander abgrenzen. Da gibt es zum einen die heute gängige Lehrmeinung, dass Arten infolge einer räumlichen Isolation von Populationen durch Wasserscheiden, Gebirgsmassive oder Eiszeiten entstehen. Dabei wird der Genaustausch zwischen den Lebensgemeinschaften so lange unterbunden, bis die Individuen untereinander nicht mehr kreuzbar sind. Dieser Prozess, der als „allopatrische Artbildung“ bezeichnet wird, wurde zu einem zentralen Dogma der Evolutionsbiologie erhoben. Zum anderen gehen alternative Konzepte von der Bildung neuer Arten ohne räumliche Trennung aus. In diesem Fall spricht man von „sympatrischen Bedingungen“. Entscheidend ist dabei aber weniger die Frage der räumlichen Trennung als die, ob es sich um einen aktiven, durch Anpassung getriebenen oder einen passiven Prozess handelt, der auf Zufallseffekten beruht. Heute wird die Konkurrenz innerhalb einer Art als entscheidender Faktor der Artbildung angenommen. Diese kann dazu führen, dass sich eine Population in zwei Gruppen spaltet. In einer sich sexuell fortpflanzenden Population würden sich die unterschiedlich angepassten Genotypen (also Gruppen von Individuen mit 70 bestimmten Erbfaktoren) jedoch

schneller wieder vermischen. Daher muss ein zweiter Faktor herangezogen werden, der zu einer Stabilisierung der Spaltung führt, die so genannte „assortative Paarung“. Dies bedeutet, dass sich in einer Population Partner mit den gleichen „Vorlieben“ für bestimmte Nischen auch bei der Paarung bevorzugen. In diesem Modell führt also die Anpassung an neue ökologische Nischen gleichzeitig zur genetischen Spaltung der Populationen. Dieser Prozess kann vergleichsweise schnell ablaufen, unter Umständen in wenigen dutzend bis hundert

Generationen. Zudem würde man erwarten, dass er immer dann eintritt, wenn neue Lebensräume besiedelt werden, in denen entsprechende ökologische Nischen noch unbesetzt sind.

Parallel zu den theoretischen Fortschritten haben sich die experimentellen Möglichkeiten zur Untersuchung von Artaufspaltungen sehr verfeinert. Inzwischen kann man solche schnell ablaufenden Ereignisse direkt beobachten. Entscheidend sind hierbei DNA-Analysen, die auf hochvariablen Sequenzabschnitten basieren. Als wichtigste Hilfsmittel haben sich die Sequenzierung von Regionen der DNA-

Mitochondrien, kleiner Zellorganellen, sowie die Analyse von variablen Sequenzwiederholungen im Zellkern erwiesen. Letztere Technik ist unter dem Namen „DNA-Fingerabdruck“ populär geworden. Sie erlaubt insbesondere die Unterbrechung des Genflusses zwischen zwei sympatrischen Gruppen nachzuweisen – das entscheidende Kriterium für eine Artaufspaltung.

Die meisten neueren Studien zur sympatrischen Artaufspaltung beziehen sich auf Fischpopulationen in Seen. Diese scheinen am ehesten einen abgrenzba-

ren Raum zu bilden, in dem Sympatrie über längere Zeit stattfinden kann.

Ein früherer Doktorand in München, Ulrich Schliewen, hat Buntbarsche in kleinen Kraterseen in Kamerun untersucht. Für einen dieser Seen, den Barombi Mbo, konnte er zeigen, dass dieser nur einmal von einer einzigen Buntbarschart besiedelt wurde und sich danach ein gutes Dutzend neuer Arten unter sympatrischen Bedingungen bildete.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Lebensräume und Organismen steht im Mittelpunkt eines Projekts an der Universität Köln. Sebastian Steinfartz und Markus Weitere befassen sich insbeson-





dere mit dem an Land lebenden Feuersalamander, einem Wirbeltier, das innerhalb der Klasse der Amphibien zu den Schwanzlurchen zählt. Vor allem wegen seiner vielfältigen Erscheinungsformen ist er für eine solche Untersuchung geeignet. Seine auffällige Erscheinung hat ihn seit jeher für Naturforscher und Sammler interessant gemacht. Es gibt mindestens fünf offizielle Feuersalamander-Arten sowie mindestens 15 verschiedene Unterarten. Im Rahmen des Kölner Projekts wurden insgesamt vierzig Populationen des Feuersalamanders in den verschiedensten Teilen Europas untersucht. Dabei wurde deutlich, dass sich die morphologischen, durch Gestaltsmerkmale getrennten Arten und Unterarten nicht nur hinsichtlich ihres genetischen Aufbaus eindeutig voneinander abgrenzen lassen, sondern dass die Differenzierung vermutlich noch viel weiter reicht.

Aber selbst innerhalb der Linie, welche gegenwärtig in Mitteleuropa verbreitet ist, kommt es zu weiteren interessanten lokalen Differenzierungen. Dies entspricht auch

denjenigen Modellen sympatrischer Artaufspaltung, die annehmen, dass bei der Wiederbesiedlung unbesetzter ökologischer Nischen (etwa nach einer Eiszeit) Rahmenbedingungen für eine weitere Aufspaltung herrschen. Durch eine flächendeckende Untersuchung von rund 50 deutschen Populationen haben sich

die Kölner Forscher die Aufgabe gestellt, eine Region zu finden, in der sich gegenwärtig eine Aufspaltung in unterschiedlich angepasste ökologische Typen vollzieht. Dabei stellte sich heraus, dass in der direkten Nähe von Köln Populationen leben, die diesen Effekt zeigen.

Im Vergleich zu anderen Schwanzlurchen haben Feuersalamander ein sehr komplexes, an den Standort angepasstes Reproduktionsverhalten. In Mitteleuropa und Deutschland ist der Feuersalamander ein klassischer Bewohner der bewaldeten Mittelgebirge. Typischerweise werden die bereits lebenden Larven in sauerstoffreichen Bächen abgesetzt. Bis zum Abschluss der Metamorphose, der Entwicklungsphase vom Ei bis zum geschlechtsreifen Tier, sind die Larven des Feuersalamanders existenziell auf Wasser angewiesen. Erst für die erwachsenen Tiere schließt sich

ein Lebensabschnitt an, in dem sie an Land leben. In manchen

Gebieten Deutschlands besiedelt der Feuersalamander aber auch für ihn untypische flache Gegenden, in denen nur selten Bäche vorhanden sind. Dort nutzt er stehende Gewässer wie mit Wasser gefüllte Fahrzeugspuren, Entwässerungsgräben der Wälder oder Pfützen. Natürlich unterscheiden sich die Lebensbedingungen in Gebirgsbächen und Gewässern gravierend. In den zeitweise stehenden Gewässern drohen den Larven tödliche Gefahren: lange Trockenperioden, aber auch Futtermangel.

Im Freiland und im Labor wurde das Anpassungsverhalten von Salamanderlarven in Bächen des Bergischen Landes sowie in Gewässern

Beeindruckende Vielfalt: Der Feuersalamander, der zu den Schwanzlurchen zählt, hat zahlreiche Arten und Unterarten; hinzu kommen regionale und lokale Varianten. Links: ein Feuersalamander aus Nordwest-Spanien. Oben: ein Exemplar aus den Pyrenäen. Rechts: ein Tier, das durch seine markante Färbung auffällt.



in der Ville, einem Waldgebiet bei Bonn, untersucht. Dabei ergab sich, dass die Feuersalamanderlarven aufgrund der unterschiedlichen ökologischen Rahmenbedingungen zwei verschiedene Anpassungsstrategien eingeschlagen haben. Laborversuche mit Fließgewässer-Larven aus der Eifel, einem Mittelgebirge, das sich westlich an die Ville anschließt, bestätigen diese Ergebnisse. Die genetische Charakterisierung der beiden verschiedenen Larven-Ökotypen ergab, dass die Ausprägung der Anpassungsstrategien sehr jungen Datums ist. Um nun zu testen, ob diese verschiedenen Anpassungsstrategien auch zur Artbildung in Sympatrie führen, war es notwendig, beide Typen zu finden und genetisch zu analysieren. In der Tat existiert im Kottenforst bei Bonn ein sympatrisches Vorkommen beider Typen. Im Frühjahr 2002 wurde daher eine intensive, kleinräumige Untersuchung im Kottenforst und in den

Grundlagen, um genetische Daten interpretieren zu können und die Mechanismen der Artbildung zu erkennen. Da Feuersalamander mit einer Samentasche ausgestattet sind, sollen frei lebende Feuersalamanderweibchen in der Lage sein, Samen verschiedener Männchen über mehrere Jahre zu speichern und sich damit später zu befruchten. Unter Bedingungen in Gefangenschaft konnte zumindest eine erfolgreiche Befruchtung mit gespeicherten Samen nach mehreren Jahren nachgewiesen werden. Inwieweit solch ein Verhalten aber

In unseren Breiten ist der Feuersalamander ein klassischer Bewohner der bewaldeten Mittelgebirge. Er setzt seine Larven in sauerstoffreichen Bächen ab. Erst die erwachsenen Tiere leben dann dauerhaft an Land. In manchen Regionen ist der Feuersalamander allerdings auch in flachen Gegenden mit stehenden Gewässern anzutreffen.

genetischer Analysen ließ sich die Anzahl der Väter bestimmen. Tatsächlich war der Anteil mehrfacher Vaterschaften hoch. Diesen Weibchen und weiteren hundert erwachsenen Tieren wurden sogenannte Transponder unter die Haut gepflanzt, die über Jahre hinweg eine individuelle Erkennung zulassen. Ziel ist es, über mehrere Fortpflanzungsperioden Aktivitätsradius, Ortstreue und Anzahl der Fortpflanzungspartner einzelner Weibchen zu erforschen

Noch befindet sich das Salamanderprojekt in einer frühen Phase. Entscheidend für seine Fortführung wird sein, inwieweit die genetische Analyse von vor Ort entstandenen „jungen“ Ökotypen des Feuersalamanders die Hypothese der sympatrischen Artbildung bestätigt. Im positiven Fall sollen detaillierte Verhaltensstudien und Kreuzungsversuche zwischen den verschiedenen Typen die genetischen Grundlagen der sympatrischen Artbil-



angrenzenden Gebieten der Eifel durchgeführt. Die vorläufige genetische Analyse der Populationen zeigt, dass die Feuersalamanderpopulation sich im Kottenforst gegenwärtig tatsächlich in zwei Arten aufspalten könnte.

Bei Artbildungsprozessen spielt das Verhalten der Tiere eine wichtige Rolle. Kenntnisse über das Wanderungs-, Expansions- und Reproduktionsverhalten sowie die Orts-treue der Tiere sind unentbehrliche

auch unter natürlichen Bedingungen stattfindet, ist völlig unklar. Das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein mehrfacher Vaterschaften beeinflusst jedoch nicht nur die interne Populationsstruktur, sondern lässt auch Aussagen über die Partnerwahl der Weibchen zu.

Vom gesamten Nachwuchs eines Jahres von über 30 Weibchen einer Beobachtungspopulation (jeweils 30 bis 40 Larven) wurden alle weiblichen Tiere untersucht. Mit Hilfe

der Forschung zur Artbildung aufzuklären. Forschungen zur Artaufspaltung müssen nicht notwendigerweise in tropischen Gebieten stattfinden. Neue Arten entstehen auch vor unserer Haustür.

*Dipl.-Biol. Sebastian Steinfartz
Prof. Dr. Diethard Tautz
Universität zu Köln*

Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Normalverfahren gefördert.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ist die zentrale Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft. Nach ihrer Satzung hat sie den Auftrag, „die Wissenschaft in allen ihren Zweigen“ zu fördern. Die DFG unterstützt und koordiniert Forschungsvorhaben in allen Disziplinen, insbesondere im Bereich der Grundlagenforschung bis hin zur angewandten Forschung. Ihre besondere Aufmerksamkeit gilt der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Jeder deutsche Wissenschaftler kann bei der DFG Anträge auf Förderung stellen. Die Anträge werden Gutachtern der Fachkollegien vorgelegt, die für jeweils vier Jahre von den Forschern in Deutschland in den einzelnen Fächern gewählt werden.

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 Pro-

grammergänzung 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 Selbständigkeit der Doktorandinnen und Doktoranden unterstützen und den internationalen Austausch intensivieren. Sie stehen ausländischen Kollegiaten offen. In *Internationalen Graduiertenkollegs* bieten deutsche und ausländische Universitäten gemeinsam ein strukturiertes Promotionsprogramm an. Zusätzliche Förderungsmöglichkeiten für den qualifi-

zierten 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.

Abbildungen in diesem Heft

ZEFA-Maehl (Titelbild); Claudia Kempf (S. 3); Böhling (S. 4/5, 6, 7); Archiv (S. 8, 9, 10, 11, 12); Dover Publications, N. Y., 1955 (S. 13); Pfeiffer/Cruse (S. 14, 15); Lühr (S. 16/17, 18/19, 18, 19 u., 21); Zimmer (S. 19 r.); Subronto (S. 20); Hüsken (S. 22/23, Rücktitel); Nerlich (S. 22 u., 24, 25, 26, 27 o.); Leicester Gallery, London (S. 26/27); IPT-Aachen (S. 28/29, 29, 30 o. r.); ISF Aachen/Jäger (S. 30 o. l., u.); ISF Aachen/Möller (S. 31); Klimburg (S. 32, 33, 34, 35, 36); Aberle (S. 37); Spindler (S. 38/39, 40/41, 43); Gradinger (S. 40 u., 42 M.); I. Werner (S. 41 u.); Mumm (S. 42 u.); ZEFA – A. Inden (S. 44/45, 45); Wisemann (S. 46); Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (S. 47); IWR Müller/Quion (S. 48/49, 50, 51); Haßler (S. 52/53); Lenz (S. 54); Archiv (S. 55); Mauritius-Age (S. 56/57, 58/59); Popp (S. 56 l., 59 u.); Kastenholz (S. 60/61); Landesamt für Naturkunde (S. 61, 62, 63); UIP-United International Pictures (S. 64/65, 67); Gunga (S. 66, 68); Stausberg (S. 69); Steinfartz (S. 70, 71, 72)

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



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

Ihre Meinung ist uns wichtig.
Schreiben Sie uns bitte und lassen Sie uns wissen,
wie Ihnen „forschung“ gefallen hat: redaktionforschung@dfg.de

www.dfg.de