

wissenschaft  im dialog



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

wasser



Edelgard Bulmahn,
Bundesministerin für Bildung und Forschung

Alles Leben auf dem Planeten Erde braucht Wasser! Ob als Süß- oder Salzwasser, als Trinkwasser, als Wasserdampf in den Wolken, als Eis in den Polargebieten und den Gebirgen, als Regen oder selbst als Abwasser – kaum ein anderer Stoff begegnet uns täglich auf so unterschiedliche Art und Weise. Dabei zeigt das Wasser zwei Gesichter: Einerseits ist die Gewalt des Wassers auch heute nicht vollkommen beherrschbar. So zerstören Hochwasser oder Sturmfluten immer wieder ganze Landstriche und machen Menschen obdachlos. Auf der anderen Seite dient uns der Rohstoff Wasser täglich zum Trinken, zur Bewässerung in der Landwirtschaft und nicht zuletzt auch zur Stromerzeugung.

»Wasser« ist das Thema der vierten und letzten großen Veranstaltung im Jahr der Geowissenschaften 2002. Die bisherigen Höhepunkte mit beeindruckenden Besucherzahlen waren die Veranstaltungen »system erde« in Berlin, der Leipziger Wissenschaftsbahnhof »luft«

und der Wissenschaftsmarkt »feuer« in Köln. In Bremen werden im diesjährigen Wissenschaftssommer vor allem die Veränderung des Weltklimas, die Erforschung der Ozeane und Polargebiete, die gestaltende Kraft des Wassers und die weltweite Sicherung der Trinkwasserversorgung spannend und informativ dargestellt und diskutiert.

Diese Broschüre soll Ihnen die Möglichkeit geben, das Interessanteste aus den Veranstaltungen zum Thema Wasser nachzulesen. Aber auch für diejenigen, die den Wissenschaftssommer in Bremen nicht besuchen konnten, bietet es spannende Informationen: von der »Farbe des Wassers« über das »Wetter zum Selbermachen« bis zu den »verbeulten Weltmeeren«.

Die Ergebnisse und Methoden geowissenschaftlicher Forschung öffentlich zu präsentieren und einen breiten Dialog zwischen Wissenschaft und Bevölkerung anzuregen, ist ein wichtiges Ziel

von »planet erde® – 2002 Jahr der Geowissenschaften«. Forscherinnen und Forscher kommen aus den Instituten und Laboren, um ihre Wissenschaft in persönlichen Gesprächen vorzustellen und die Ergebnisse ihrer Arbeit zu diskutieren.

Das Wissenschaftsjahr geht zurück auf die Initiative »Wissenschaft im Dialog«, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gemeinsam mit dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft und den großen Forschungsorganisationen ins Leben gerufen hat.

Nutzen Sie diese Gelegenheit, sich umfassend zu informieren, mit Forschern zu sprechen und Ihre eigene Meinung in die Diskussion mit einzubringen – und entdecken Sie die Faszination der Geowissenschaften!

HERAUSGEBER

Bundesministerium für
Bildung und Forschung

KONZEPT, REDAKTION & GESTALTUNG

iserundschmidt
Kreativagentur für PublicRelations GmbH
Bad Honnef – Berlin

AUTORIN

Dr. Wiebke Rögner

ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUM JAHR DER GEOWISSENSCHAFTEN

BMBF Pressestelle
Hannoversche Str. 28-30
10115 Berlin
Tel. 030 - 28 540 - 50 50
Fax 030 - 28 540 - 55 51
presse@bmbf.bund.de

iserundschmidt
Kreativagentur für PublicRelations GmbH
Hauptstr. 20a
53604 Bad Honnef
Tel. 0 22 24 - 95 195 - 41
Fax 0 22 24 - 95 195 - 19
info@planeterde.de

INFORMATIONEN ZU WISSENSCHAFT IM DIALOG (WID)

Wissenschaft im Dialog gGmbH
Markgrafenstr. 37
10117 Berlin
Tel. 030 - 20 64 92 - 00
Fax 030 - 20 64 92 - 05
info@wissenschaft-im-dialog.de



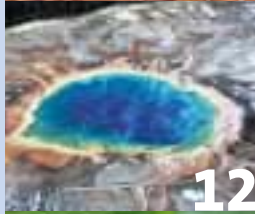
04

Ein eigenartiges Element



08

Der flüssige Bildhauer



12

Exotik im Wasser



14

Wasser auf der Rundreise



16

Sensible Klimaanlage



22

Die Quelle des Lebens



26

Das destruktive Element



27

Vier Schüler im Eis

▼ »WINTERLANDSCHAFT MIT SCHLITTSCHUHLÄUFERN BEI SONNENUNTERGANG«, AERT VAN DER NEER, CA. 1655/60 (© FOTO: GEMÄLDEGALERIE DER STAATLICHEN MUSEEN ZU BERLIN, SMPK)



Ein eigenartiges Element

»Das Prinzip aller Dinge ist das Wasser, denn Wasser ist alles und ins Wasser kehrt alles zurück.«

THALES VON MILET (UM 625 – UM 547 V. CHR.), GRIECH. PHILOSOPH

UNBESCHWERT GLEITEN die Schlittschuhläufer über das Eis und denken dabei gewiss nicht über Physik nach. Und doch verdanken sie ihr Vergnügen gleich mehreren ungewöhnlichen physikalischen Eigenschaften des Elements unter ihren Füßen. Denn Wasser ist ein höchst seltsamer Stoff.

Die Behauptung erscheint gewagt – was könnte gewöhnlicher sein als Wasser? Ist es doch mit einem Volumen von 1,4 Milliarden Kubikkilometern die häufigste Substanz an der Erdoberfläche. Die Masse des Wassers im ganzen Universum hat nach Schätzungen das Gewicht von 10 Millionen Milliarden Sonnen. Wasser bedeckt fast drei Vier-

tel der Erde, gleichmäßig um unseren Planeten verteilt ergäbe es eine drei Kilometer dicke Wasserhülle. Der größte Teil davon füllt die Ozeane, etwa zwei Prozent sind in Polkappen und Gletschern zu Eis erstarrt. Unter unseren Füßen fließt es als Grundwasser hinweg, und hoch über uns, in der Atmosphäre, bildet Wasserdampf eine wichtige Zutat zur »Wetterküche«. Wasser ist der einzige Stoff, der uns alltäglich sowohl als Flüssigkeit wie auch als Feststoff und als Dampf begegnet – in allen drei Aggregatzuständen also.



▲ EISKRYSTALLE. DIE SECHSECKIGE FORM DIESER SCHNEEFLOCKEN SPIEGELT DIE »HEXAGONALE« STRUKTUR WIEDER, IN DER SICH DIE GEFRORENEN WASSERMOLEKÜLE ANORDNEN. (FOTO: SAVE-BILD)

› Nicht normal

Schlittschuhläufer interessiert vor allem die zu Eis erstarrte Variante. Dass sie auf Seen und Tümpeln eine Schicht bildet, die zum Wintersport einlädt, ist keineswegs selbstverständlich: Bei keiner anderen Substanz schwimmt der erstarrte Feststoff auf der wärmeren Flüssigkeit. Wasser jedoch ist bei vier Grad über dem Gefrierpunkt am schwersten – ein Kubikzentimeter wiegt dann genau ein Gramm. Deshalb findet sich Wasser mit dieser Temperatur immer ganz unten, am Boden von Seen. Im Winter ist darüber leichteres, kühleres Wasser geschichtet, bis zur hoffentlich tragfähigen Eisdecke. Wissenschaftler sprechen von der Dichteanomalie des Wassers. Sie kommt nicht nur Wintersportlern zugute, sondern sichert vor allem den Lebewesen, die am Grunde der Gewässer überwintern, ihren Überlebensraum.

Schon flüssiges Wasser dehnt sich aus, wenn es kälter als vier Grad wird. Beim Gefrieren nimmt sein Volumen nochmals zu – und sorgt so dafür, dass Schlittschuhläufer ihren Sport ohne Tauchausrüstung betreiben können. Es bilden sich besonders sperrige Kristalle, in denen die Wassermoleküle zu Sechsecken angeordnet sind. Auch in jeder [Schneeflocke](#) und in Eisblumen wird diese »hexagonale« Anordnung sichtbar. In der chinesischen Alchimie ist daher die 6 die »Zahl des Wassers«. Eiskristalle nehmen fast ein Zehntel mehr Platz ein als ähnlich kalte, aber noch flüssige Wassermoleküle. Ein größeres Volumen aber bedeutet mehr Auftrieb – das Eis schwimmt oben.

Der extravagante Platzbedarf der Eiskristalle verhilft unseren Schlittschuhläufern auch zu ihrem fast reibungslosen Dahingleiten. Denn unter den schmalen Kufen gerät das Eis mächtig

▼ BLAU SCHIMMERNDEN EIS AUF SPITZBERGEN (FOTO: A. GERDES, MARUM)



Die Farbe des Wassers

Der Blick durch eine regennasse Fensterscheibe beweist: Wasser ist durchsichtig, es hat keine Farbe. Und doch malt jedes Kind das Meer blau, Seen und Gletscher schimmern bläulich. Die Ursache: Ein wenig Licht schluckt das Wasser eben doch, und zwar rotes sehr viel mehr als blaues. Auch wird das kurzwellige, blaue Licht stärker von den Wassermolekülen in alle Richtungen gestreut. In dicken Schichten werden diese Effekte sichtbar. Jeder Taucher weiß: Je tiefer er hinabgleitet, desto blauer wird die Unterwasserwelt. Algen oder Sand im Wasser können es aber auch grün- oder gelblich färben. Schnee dagegen ist seit Schneewittchens Tagen der Inbegriff für die Farbe Weiß. Seine winzigen Kristalle reflektieren das ganze Spektrum des Sonnenlichts.

unter Druck. Es weicht aus, indem es ein kleineres Volumen einnimmt – es schmilzt. Ohnehin sind an der Oberfläche des Eises die einzelnen Atome weniger fest in das Kristallgitter ein-

✓ AUF SANFTEN PFOTEN SPAZIERT DER WASSERLÄUFER ÜBER SEINEN TEICH. ER IST SO LEICHT, DASS DIE OBERFLÄCHENSpannung DES WASSERS AUSREICHT, IHN ZU TRAGEN. (FOTO: WWW.BLICKWINKEL.DE)



Tragfähig

Unangenehm macht das »zähe« Wasser sich bei einem »Bauchklatscher« im Schwimmbecken bemerkbar. An der Oberfläche scheint es gar eine noch festere Haut zu besitzen: der Wasserläufer kann auf ihr spazieren ohne unterzugehen. Ursache sind die Bindungskräfte zwischen positiv und negativ geladenen Polen der Wassermoleküle. An der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft fehlen die »nach oben« ziehenden Partner. Übrig bleibt eine ins Wasserinnere gerichtete Kraft, die Oberflächenspannung.

geschlossen. Sie verhalten sich deshalb wie ein hauchfeiner Flüssigkeitsfilm. Daher kann man auf Eis wesentlich leichter ausrutschen als zum Beispiel auf einer noch so glatt polierten Steinfläche.

> Das träge Wasser

Auch wenn die Lufttemperatur in der Wintersonne auf einige Plusgrade steigt, besteht kein Grund, panikartig vom Eis zu fliehen – ehe Strom und Bä-

che vom Eise befreit sind, muss es eine ganze Weile warm bleiben. Andererseits lassen nicht schon die ersten Nachfröste eine belastbare Eisdecke entstehen. Wasser reagiert nur träge auf Temperaturänderungen. Physiker sprechen von der hohen Wärmekapazität des Wassers. Es muss also viel Energie zugeführt werden, damit Wasser sich erwärmt, schmilzt oder gar verdampft – um einen Liter Wasser um ein Grad zu erwärmen fast doppelt so viel Energie wie für die gleiche Temperaturerhöhung in Alkohol.

Schuld an all diesen Absonderlichkeiten ist ein kleines Molekül, das nicht viel Respekt vor den gängigen Regeln der Chemie zeigt – H_2O . Normalerweise gilt: Je größer ein Molekül, desto höher sein Schmelzpunkt und seine Siedetemperatur. Das aus langen Molekülketten be-



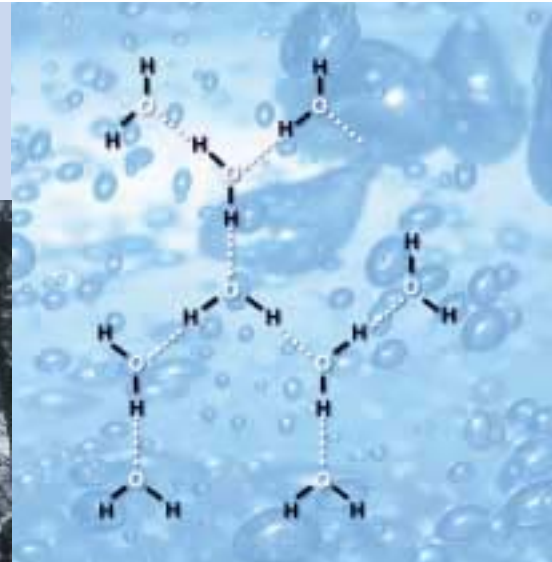
▲ RISS IM EIS. AUS DEN SEEN IN GRÖNLAND WIRD AUCH IM WINTER TRINKWASSER GEPUMPT, DENN AM GRUND EINES SEES BLEIBT DAS WASSER IMMER FLÜSSIG. DA SICH BEI GRÖßEREN ENTNAHMEN EIN HOHLRAUM UNTER DEM EIS BILDET, SINKT DIESES EIN UND REISST DABEL. (FOTO: A. GERDES, MARUM)

stehende Paraffin in einer Kerze ist fest und schmilzt erst in der Flamme, das aus kleineren Ketten bestehende Benzin ist dagegen flüssig – auch noch bei tiefen Wintertemperaturen.

> Das magische Dreieck

Im kleinen Wassermolekül jedoch bilden die zwei Wasserstoffatome (» H_2 «) mit dem Sauerstoff (»O«) ein »magisches Dreieck«, das diese Regeln außer Kraft setzt. An der Sauerstoff-Ecke ist es negativ geladen, an den beiden im Winkel von $104,5$ Grad abgespreizten Wasserstoffatomen positiv. Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an – deshalb finden die positiven Wasserstoff-Enden fremde Sauerstoff-Pole höchst attraktiv und bilden mit ihnen so genannte Wasserstoffbrücken. So entsteht eine im Vergleich mit anderen Flüssigkeiten

▼ BIS FLÜSSE UND SEEN ZUFRIEREN, MUSS ES SCHON EINE GANZE WEILE KALT BLEIBEN. AUFGRUND SEINER HOHEN »WÄRMEKAPAZITÄT« REAGIERT WASSER NUR SEHR TRÄGE AUF TEMPERATURÄNDERUNGEN. (FOTO: A. GERDES, MARUM)



▲ H₂O-MOLEKÜLE BILDEN SOGENANnte WASSERSTOFFBRÜCKENBINDUNGEN AUS. SO ENTSTEHEN GEBILDE, DIE SICH WIE GROSSE MOLEKÜLE VERHALTEN. ANDERE GELADENE STOFFE KÖNNEN DADURCH LEICHT »UMRINGT« WERDEN. (GRAFIK: IUS)

sehr regelmäßige und stabile Anordnung. Jedes Wassermolekül ist darin von drei anderen umgeben. Bei sinkender Temperatur bilden sich zunehmend sperrigere, kristallähnliche Gebilde aus immer mehr Wassermolekülen, bis hin zu den raumgreifenden Eiskristallen.

Würde Wasser sich so verhalten, wie es seiner Molekülgröße zukommt (siehe oben), müsste Eis schon bei minus 97 Grad Celsius schmelzen und bei minus 93 Grad verdampfen. Doch aus dem Verband der Wassermoleküle auszuweichen erfordert viel Energie. Wer Wasser erhitzt, bringt zunächst nur die miteinander vernetzten Moleküle zum Schwingen. Diese Netze verhalten sich quasi wie ein großes »Supermolekül«. Erst bei hundert Grad trennen sie sich und lassen den Kessel pfeifen. So bleibt Wasser über einen ungewöhnlich brei-

ten Temperaturbereich flüssig – eine wichtige Voraussetzung dafür, dass in ihm das Leben entstehen konnte.

Wasser ist also in vielerlei Hinsicht ein Abweichler. Von den weitreichenden Folgen dieses Nonkonformismus handeln die folgenden Kapitel.

➤ DAS WASSERMOLEKÜL (H₂O). DIE BEIDEN WASSERSTOFFATOME (WEISS) HABEN JEWELNS NUR EIN ELEKTRON. DIESE BEIDEN ELEKTRONEN VERLAGERN SICH ZUM GROSSEN SAUERSTOFFATOM HIN (ORANGE). DESHALB SIND DIE OBEREN ECKEN DIESES »MAGISCHEN DREIECKS« POSITIV GELADEN, DIE UNTERE ECKE DAGEGEN NEGATIV. (KALOTTENMODELL: IUS)



Die Lösung des Lebens

Wassermoleküle halten nicht nur untereinander fest zusammen, sie gehen auch mit Fremden gern enge Beziehungen ein – sofern es sich nur ebenfalls um Stoffe handelt, die ein negatives und ein positiv geladenes Ende besitzen. Sie lagern sich mit Plus- oder Minuspol an die jeweils passenden Gegenstücke an und bilden so einen Wassermantel um den Partner. So bleibt das Salz im Meer ebenso gelöst wie Zucker oder Eiweißmoleküle. Nur auf diese Weise konnten die Moleküle zusammenkommen, aus denen einst das Leben entstand.



Der flüssige Bildhauer

»Auf der Welt gibt es nichts, was weicher und dünner ist als Wasser. Doch um Hartes und Starres zu bezwingen, kommt nichts diesem gleich.«

LAOTSE (3. OD. 4. JH. V. CHR.), CHIN. PHILOSOPH

GLATT GESCHLIFFENE FLUSSKIESEL und die großen Canyons in den USA, Sandrippel am Badestrand und bizarre Gebilde in Tropfsteinhöhlen – die gestaltende Kraft des Wassers begegnet uns in vielen Erscheinungsformen. Über Jahrmillionen hat sie die Erde geprägt und verändert sie noch heute in jedem Augenblick. Der deutsche Kaiser möge dies zumindest auf Hiddensee verhindern, begehrten einst die Bewohner des bei Rügen gelegenen Eilands und schickten eine Abordnung

nach Berlin. Eine Sturmflut hatte 1864 ihre Insel in zwei Teile zerbrochen, und nur mit einem Damm ließ sich die Lücke wieder schließen. Wilhelm I. hatte ein Einsehen und gewährte die dafür nötigen Mittel. Heute sagen Computersimulationen einen erneuten Durchbruch voraus.

Nord- und Ostsee sorgen dafür, dass die Küstenlinie in Bewegung bleibt. Sie nagen an der »Langen Anna« auf Helgoland ebenso wie am Sylter Badestrand



▲ HISTORISCHE KARTE DER EMSMÜNDUNG MIT DEM DOLLARTBECKEN VON 1568. DIE GROSSE STURMFLUT VON 1509 HATTE DAFÜR GESORGT, DASS SICH DER DOLLART HIER SEHR WEIT INS LANDESINNERE AUSDEHNT. HEUTE REICHT DAS WASSER NUR NOCH BIS UMGEFÄHR ZUM GROSSEN SEGELSCHIFF, DAS ÜBER DEM SCHRIFTZUG »DOLLAERT« SCHWIMMT. (FOTO: A. GERDES, MARUM)

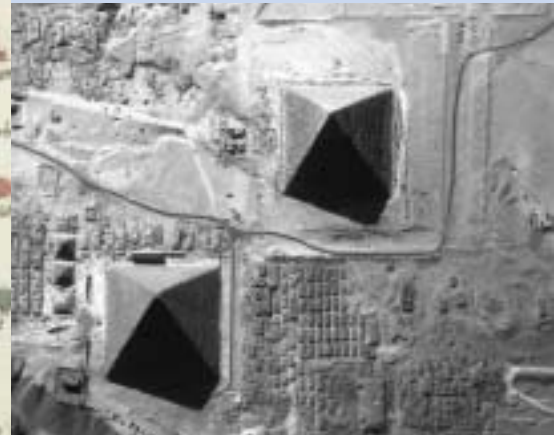
und lassen die ostfriesischen Inseln südostwärts wandern. Wo das Wasser schnell strömt, reißt es ein, wo es langsamer fließt, lagert es Sedimente ab. Am Beispiel von Norderney wird diese Dynamik deutlich. Die etwa 700 Jahre junge Insel gehörte ursprünglich zu einer Großinsel, die »Buisse« genannt wurde. Von dieser wurde sie durch einen Dünenbruch abgetrennt. Norderney profitierte zunächst davon, dass der Rest von Buisse durch Sturmfluten langsam zerfiel: Durch die angespülte Erbmasse streckte sich Norderney von 8 Kilometer Länge im Jahr 1650 auf heute 14 Kilometer. Doch nach der vollständigen Auflösung von Buisse

verstärkte sich der Gezeitenstrom am Westende und wurde zum Landräuber. Seit 1850 muss der Westen Norderneys mit Deichen und Buhnen geschützt werden.

> Strand mit Waschbrettbauch

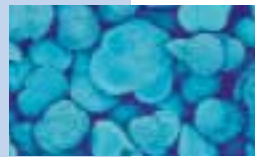
Historische Karten belegen die Veränderungen an der Küstenlinie in den letzten Jahrhunderten. Kurzlebige Gestaltungskräfte des Wassers kennt jeder Strandspaziergänger: Wo die Ebbe den Sand freilegt, werden waschbrett-ähnliche Wellenmuster sichtbar. Rippelmarken nennen Geologen diese Strukturen, die sich unter nackten

✓ DIE PYRAMIDEN VON GIZEH ZÄHLEN ZU DEN BERÜHMTESTEN BAUWERKEN DER MENSCHHEIT. WAS KAUM EINER WEISS: SELBST DAS BAUMATERIAL ENTSTAND AUS ARCHITEKTONISCHEN MEISTERSTÜCKEN, DEN WINZIGEN »FORAMINIFEREN« (UNTEN). (FOTOS: SPACE IMAGING INC. OBEN, AWI UNTEN)



Wasser für die Pyramiden

Wie viele Arbeiter wirkten mit an der Errichtung der Pyramiden von Gizeh? Zigtausende müssen es gewesen sein. Doch lange vor ihnen schufen Milliarden winziger mariner Organismen, die »Foraminiferen«, die Voraussetzungen für die gewaltigen Bauwerke. Diese einzelligen Meeresbewohner besitzen phantastisch geformte Kalkschalen. Als Nordafrika im Eozän vor etwa 45 Millionen Jahren von einem warmen Ozean bedeckt war, bildeten sich aus den Gehäusen der massenhaft vorkommenden Tierchen mächtige Kalkablagerungen. Als das Land sich aus dem Meer erhoben hatte, wurden daraus die späteren Steinbrüche für die alten Ägypter. Wissenschaftler ermitteln heute aus der Zusammensetzung der Foraminiferen-Gehäuse, welche Temperaturen herrschten und wie salzig das Meer war, als vor 45 Millionen Jahren der Baustoff für die Pyramiden entstand.





▲ GLATT UND RUND HAT DAS WASSER DEN ANTELOPE CANYON IN ARIZONA AUSGEWASCHEN. (FOTO: OKAPIA)

▼ NUR FEINE SCHRAMMEN IM GRÖNLÄNDISCHEN GESTEIN ZEUGEN DAVON, DASS SICH HIER EINMAL DIE RIESIGEN EISMASSEN EINES GLETSCHERS INS TAL HINABGEWÄLTZT HABEN. (FOTO: A. GERDES, MARUM)



Füßen so gut anfühlen. Sie entstehen, wenn Wasser über den Sand strömt, ähnlich wie der Wind auf dem Wasser Wellen erzeugt. So weit, so simpel. Doch wenn Wissenschaftler bestimmen wollen, welche Strömung bei welcher Korngröße des Sandes welche Formen hervorbringt, müssen sie zu komplizierten Berechnungen greifen. Dabei zeigt beispielsweise der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit unerwartete Sprünge. Steigt sie über einen bestimmten Wert, bilden sich statt der üblichen Rippel mit einer Wellenlänge von wenigen Zentimetern schlagartig so genannte Mega-Rippel, bei denen die Wellenkämme mehr als einen halben Meter auseinander liegen. Nicht nur wissenschaftliche Neugier treibt die Forscher, die verwickelten Zusammenhänge genau-

er zu erfassen. Ihre Ergebnisse helfen einerseits, die Verlagerung von Sedimenten vorherzusagen. Andererseits erlauben sie einen Blick in die Vergangenheit. Denn in Sedimentgesteinen blieben Rippel gelegentlich über Jahrtausende erhalten. Und so geben die zumeist so vergänglichen Muster heute in versteinelter Form Auskunft über Strömungsverhältnisse und Wellenschlag in der Erdgeschichte.

Weit langsamer verrichteten eiszeitliche Gletscher ihre Bildhauerarbeit am Gesicht der Erde. Schleifend und schmirgelnd schoben sich kilometerdicke Eismassen über große Teile Europas. Mancherorts hinterließen sie nur unscheinbare **Schrammen im Gestein**, die erst Ende des 19. Jahrhunderts richtig als

Spuren der Eiszeit gedeutet wurden. An anderer Stelle sind noch heute tief eingeschnittene Gletschertäler zu sehen.

► **Erst fängt es ganz langsam an**

Wie gemächliche erdgeschichtliche Prozesse zu jähren Ereignissen führen können, wird am wechselnden Verlauf der Donau deutlich. Ursprünglich strömte sie in der Gegend des heutigen Ingolstadt rund 50 km nördlicher als heute dahin. Dort sägte sie sich vor ca. zwei Millionen Jahren 150 Meter tief ins Gestein. Ihre Nebenflüsse lieferten die notwendigen Wassermassen sowie Geröll als überdimensionalen »Schmirgelsand«. Dann aber kamen die Gletscher der Riß-Eiszeit und mit ihnen mehr Geröll, als der Fluss fortschaffen konn-



▲ ZWEI NUMMERN ZU KLEIN IST DIE »WELTENBURGER ENGE« FÜR DIE DONAU. VOR 200.000 JAHREN ERGOSSEN SICH IHRE WASSERMASSEN IN DAS BETT EINES WESENTLICH KLEINEREN FLÜSSCHENS. (FOTO: TOURISMUS-BÜRO LANDKREIS KELHEIM)

te. Es lagerte sich ab und verstopfte dem Wasser allmählich den gewohnten Lauf. Gleichzeitig hatte sich ein kleines, damals süd-östlich der Donau gelegenes Flüsschen immer dichter an die Donau herangearbeitet. Rückwärtserosion heißt dieses Phänomen: So verlagert sich die Abbruchkante eines Wasserfalls immer weiter nach hinten, weil sie vom herabströmenden Wasser unterspült wird und immer wieder Stück für Stück abbricht. Ebenso kann sich die Quelle eines Flusses – auch ein kleiner »Wasserfall«, bei dem das Quellwasser aus dem Gestein läuft – über die langen geologischen Zeiträume hinweg langsam weiter nach »hinten« fressen. Die genaue Richtung ist dabei natürlich von vielen Faktoren abhängig, zum Beispiel der unterschiedlichen Här-

te des Gesteins. So verlagerte sich die Quelle unseres kleinen Flüsschens allmählich immer weiter westwärts. Dort, wo die Urdonau sich beim heutigen Rennertshofen nach Norden wandte, erreichte es vor etwa 200.000 Jahren quasi im Rückwärtsgang das Donautal und zapfte schließlich die Donau an. Deren aufgestaute Wassermassen konnten nun Richtung Süd-Osten abfließen. Die Donau schaffte es bisher nicht, den Durchbruch ins schmale neue Bett, die »Weltenburger Enge«, angemessen zu erweitern – sie läuft gleichsam in zu engen Schuhen. Regelmäßig kommt es daher bei Hochwasser zu einem Rückstau und weiträumigen Überschwemmungen.

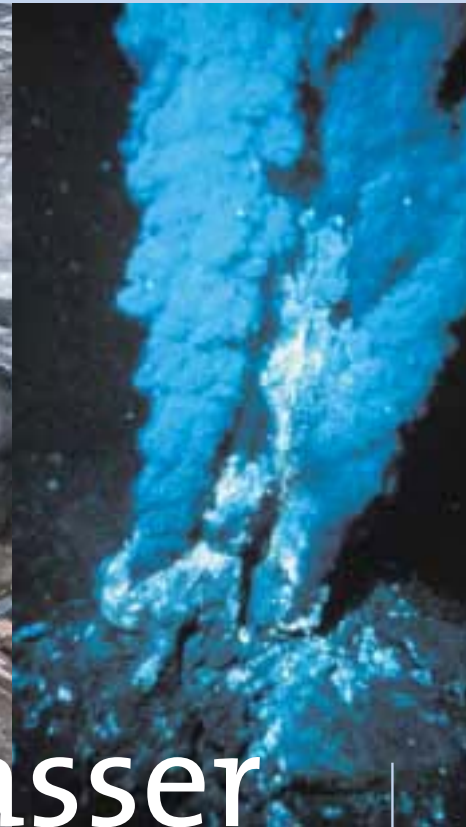
▼ EIN EWIGES RÄTSEL: STALAGMITEN WACHSEN VOM BODEN AUS, STALAGTITEN VON DER DECKE – ODER WAR ES DOCH UMGEKEHRT? (FOTO: ATTENDORNER TROPFSTEINHÖHLE)



Schöpferisches Wasser

Bei der Erschaffung obiger Kunstwerke war das Wasser gleich in mehrfacher Hinsicht aktiv. Zunächst sorgte es für Baumaterial: Kalkgebirge entstanden aus Korallenriffen, die im Devonischen Meer heranwuchsen. Dieses warme Meer bedeckte vor etwa 400 Millionen Jahren große Teile Europas, die zu dieser Zeit noch südlich des Äquators lagen. Dann kamen die »Ausstellungsräume«: Nachdem das Land sich gehoben hatte, sickerte Regenwasser durch Risse im Kalkgestein und formte darin Höhlen. Dabei wurde der Kalkstein sowohl mechanisch abgetragen als auch chemisch ausgehöhlt. Denn Wasser verbindet sich mit Kohlendioxid aus der Atmosphäre und aus dem Boden zu Kohlensäure, die Kalk zu Kalziumbikarbonat auflöst. In den so entstandenen Höhlen kehrt sich der Prozess um: Erreicht karbonat- und kohlenstoffhaltiges Wasser einen Hohlraum, gibt es Kohlendioxid an die dortige Luft ab. Das Karbonat ist im nun weniger sauren Wasser nicht mehr löslich – Schicht für Schicht lagert es sich in bizarren Skulpturen ab.

✓ Ob im Heisswasserbecken im Yellowstone Nationalpark (links) oder neben vulkanischen Quellen in 2000 Meter Tiefe (rechts): Das Leben lässt sich nicht unterkriegen. Während die Bakterienkolonien in der Tiefsee im Scheinwerferkegel eintönig weiss aufleuchten, bescheren verschiedene Arten von Mikroorganismen dem kochenden See seine Farbenvielfalt. (FOTOS: YELLOWSTONE NATIONALPARK LINKS; J. ERZINGER, GFZ-POTSDAM RECHTS)



Exotik im Wasser

TROTZ EINER TROCKENEN, mit Sauerstoff verseuchten Umgebung und äußerst ungemütlichen Temperaturen haben sich in jüngster Zeit auf der Erdoberfläche Organismen entwickelt, die an derart extreme Lebensräume angepasst sind.« So könnte dieses Kapitel beginnen, wenn es von denen verfasst wäre, die auf unserem Planeten die Mehrheit bilden: Bakterien und ihre ursprünglichen Verwandten, die Archaeobakterien. Für sie sind oft ganz andere Lebensbedingungen »normal« als für uns. Viele von ihnen blieben dort, wo das Leben vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren entstand – im Wasser. Hier existieren sie oft an Orten, die uns völlig »lebensfeindlich« scheinen: ohne

»Der Mensch ist eine seltsame und interessante Erfindung.«

MARK TWAIN (1835-1910)

Sauerstoff, unter extremem Druck, in heißen Quellen oder im Eis der Polargebiete.

Über 113 Grad Celsius verträgt der derzeitige Weltrekordhalter unter den Hitze liebenden Mikroorganismen, *Pyrolobus fumarii* (»Feuerlappen des Schornsteins«). Doch bei weniger als 90 Grad stellt er zähneklappernd alle Aktivitäten ein. Heimisch ist der Ofenhocker in so genannten Black Smokern, vulkanischen Quellen am Meeresgrund. Kürz-

lich wurden die Gene dieses Archaeobakteriums vollständig analysiert. Die Forscher möchten so herausfinden, welche Merkmale verhindern, dass seine Eiweißverbindungen in der Hitze gerinnen wie ein hart gekochtes Frühstücksei.

> Vor dem ersten Kontakt

Mit ganz anderen Herausforderungen müssen Organismen im Wostok-See fertig werden, einem 10.000 Quadrat-



▲ POLARFORSCHER AM WOSTOK-SEE STECHEN SCHNEE FÜR IHR WASHWASSER. SIE HABEN SICH EINEN WIRKLICH UNGEMÜTLICHEN ORT AUSGESUCHT: HIER WURDE DIE KÄLTESTE TEMPERATUR AUF DER ERDE GEMESSEN, MINUS 89,2 °C IM JULI 1983. (FOTO: C. M. SUCHER, RAYTHEON POLAR SERVICES COMP., CENTENNIAL)

▼ KRILL IM EIS. VIELE KLEINLEBESWEN (WIE DIESES KREBSCHEN) BEVÖLKERN DAS EIGENTLICH VOLLKOMMEN LEBENSFEINDLICH ERSCHEINENDE POLARE PACKEIS. (FOTO: AWI)



Die weiße Wüste lebt

Kein Bereich der Erde erscheint uns unwirtlicher als das Packeis im Polarwinter. Und doch ist es ein gläsernes Labyrinth voller Leben. Wenn Meerwasser gefriert, erstarren nur die Wassermoleküle zu Eiskristallen. Darin bildet sich ein feines Netzwerk von Kanälchen und Poren, die mit einer konzentrierten Salzlösung gefüllt sind. Dieser Salzlake-getränkte »Eisschwamm« ist der Lebensraum zahlloser Würmer, Krebschen, Algen und Bakterien. Die Eisbewohner überleben mit Hilfe zahlreicher Tricks. So enthält die Membran ihrer Zellen viele mehrfach ungesättigte Fettsäuren, die sie bei Minusgraden geschmeidig halten.

kilometer großen Gewässer unter dem Eis der Antarktis. Neben Dunkelheit, Sauerstoffmangel und Kälte sind sie einem Druck von 380 Atmosphären ausgesetzt. Von der Welt durch einen etwa vier Kilometer dicken Eisdeckel abgeschnitten, müssen diese Extremsportler auch noch Hungerkünstler sein: Der einzige Nährstoff-Nachschub stammt aus dem Eis, das sich langsam über den See hinweg schiebt. Am Nordende des Wostok-Sees schmilzt dabei die Eis-Unterseite zu Wasser. Es fiel vor rund 500.000 Jahren als Schnee über der Antarktis. Die in ihm enthaltenen Gase und Staubpartikel gelangen beim Aufschmelzen in den See. Am südlichen Ende friert dagegen Wasser aus dem See am eisigen Deckel fest. Polarfor-

scher bohrten ein 3.600 Meter tiefes Loch in diese ständig neu gebildete Grenzschicht und förderten diverse Bakterien zu Tage – bisher die einzigen Lebenszeichen aus dem [Wostok-See](#). Denn etwa 120 Meter über dem Wasser stoppten sie die Bohrung. Sonst wären unvermeidlich Mikroorganismen aus der Außenwelt in den Lebensraum eingeschleppt worden, der seit 20 Millionen Jahren von der Entwicklung auf dem restlichen Planeten isoliert ist. Wissenschaftler suchen nun nach Wegen, diese Welt zu erforschen, ohne sie dabei unwiderruflich zu zerstören.

Auf die Erkenntnisse aus der Tiefe der Antarktis warten auch Forscher, die sonst lieber in den fernen Weltraum

schauen. Nähren sie doch die Hoffnung, entfernte Verwandte zu finden. Zum Beispiel auf dem eisbedeckten Jupitermond Europa, oder unter dem Eis am Südpol des Mars. Keine Luft, kaum Nahrung, extreme Hitze oder Kälte – mit all dem lässt sich fertig werden. Leben ohne Wasser aber scheint ausgeschlossen.



Wasser auf der **Rundreise**

»Vom Himmel kommt es, zum Himmel steigt es,
und wieder nieder zur Erde muss es,
ewig wechselnd.«

AUS: »GESANG DER GEISTER ÜBER DEN WASSERN« (JOHANN WOLFGANG VON GOETHE)

WASSER IST EIN UNRUHIGES ELEMENT: Es prasselt als Regenguss oder Hagel zu Boden, taumelt als Schneeflocke durch die Luft, stürzt als reißender Bergbach zu Tal, türmt sich zu haushohen Wellen und wogt als Ebbe und Flut um die Kontinente. In den Baumriesen der Wälder Nordamerikas steigt Wasser durch feinste Röhren mit Hilfe der

Kapillarkräfte über hundert Meter empor. Und von jeder noch so stillen Pfütze steigen unaufhörlich Wassermoleküle in die Atmosphäre auf.

Im globalen Wasserkreislauf hängen alle Erscheinungsformen des Wassers miteinander zusammen. Jedes Schulkind hört wohl von der Rundreise eines Regentropfens, der in einen See

fällt, durch Bäche und Flüsse zum Meer reist, um dann in der Sonnenwärme zu verdampfen und als Wolke an den Ausgangspunkt zurückzukehren. Damit wissen Schüler heute mehr, als noch Leonardo da Vinci (1452-1519). Er erfasste zwar, dass das Wasser der Erde sich in einem ewigen Kreislauf befindet, und erkannte die Sonne als treibende Kraft der Verdunstung, und damit auch von Wolkenbildung und Regen. Doch vermutete er, dass die Berge durch unterirdische Adern Wasser aus den Ozeanen saugten und so die Quellen der Flüsse speisten. Erst der französische Amateurgeologe Pierre Perrault wies 1674 nach, dass Regen und Schnee genug Wasser für die Flüsse liefern.



FOTOS: A. GERDES, MARUM;
J. REICHLING, BGR; PHOTODISC (3x);
F. OSSING, GFZ-POTSDAM

Feuchte Fakten

1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser gibt es auf der Erde – schätzungsweise. Entspräche dies der Füllung einer Badewanne (150 Liter), so wäre davon nur knapp ein halber Eimer Süßwasser, davon fast drei Viertel gefroren. Nur einen Liter nähme das Grundwasser ein; in einem Schnapsgläschen von 0,02 Litern fände das Wasser von Flüssen und Seen Platz. Nur ein paar Tropfen sind Wasserdampf, der große Rest füllt als Salzwasser die Ozeane. Nicht berücksichtigt ist hier allerdings das Wasser, das in den Mineralien der Erdkruste chemisch gebunden ist. Das Krustengestein soll nach Schätzungen zu etwa 0,2 Prozent aus Wasser bestehen. Damit würde fünfmal soviel Wasser in den Steinen stecken, wie alle Ozeane zusammen fassen.

schläge fallen können, muss das atmosphärische Wasser fast 40 Runden im Riesenrad zwischen Himmel und Erde drehen.

Um die Reiselust der Tröpfchen aber ist es unterschiedlich bestellt. Eher auf einen Kurztrip geht der Regentropfen, der aus den Wolken direkt in einen Fluss fällt und sofort wieder die Rückreise zum Meer antritt. Diese Tour dauert in einem großen Strom, von der Quelle aus gerechnet, etwa zwei Wochen. Doch auch ausgedehnte Zwischenstopps sind möglich, ehe die Rundreise von vorn beginnen kann. Sinkt unser Tropfen zum Grund eines Sees, verlängert sich sein Aufenthalt um einige Jahre. Sickert er gar ins Grundwasser, kann er dort einige tausend Jahre verweilen. Zieht ihn eine Meeresströmung in die Tiefen des Ozeans hinab, bedeutet das eine Rast von durchschnittlich dreitausend Jahren. Am meisten Geduld aber braucht der Reisende, wenn er als Schneeflocke

über den polaren Eisgebieten niedergeht. Das Wasser am Grund der Eismassen sitzt dort seit hunderttausenden von Jahren fest. Eine Abkürzung nimmt dagegen der Regentropfen, der nach einem Schauer den Durst von Blumen und Bäumen stillt: Das von der Vegetation aufgenommene Nass verdunstet schon nach etwa fünf Tagen wieder.

Ob nach einem kurzen oder langen Landaufenthalt – in der Atmosphäre gelangt das Wasser in einen hektischen Verschiebebahnhof. Die Verweildauer dort beträgt kaum zehn Tage. Denn nur ein kleiner Teil allen Wassers schwebt jeweils als Dampf in der Atmosphäre – knapp 0,01 Promille oder 13.000 Kubikkilometer. Damit daraus jährlich etwa 500.000 Kubikkilometer Nieder-

▼ DER LETZTE SEINER ART? DIESER EINSAME PINGUIN HAT SICH WOHL NUR VERLAUFEN. DOCH DER KLIMAWANDEL FÜHRT DAZU, DASS SICH TEILE DER ANTARKTIS ERWÄRMEN UND IMMER WIEDER GROSSE EISSCHOLLEN VON DER KÜSTE ABBRECHEN. DAS WIRKT SICH NATÜRLICH AUCH AUF DIE DORT LEBENDE TIERWELT AUS. (FOTO: OKAPIA)

Sensible Klimaanlage

An aerial photograph of the Antarctic continent, showing a vast expanse of fragmented ice floes floating in the dark ocean. A single penguin is visible on one of the larger ice floes in the lower-middle section of the image. The sky is a pale, clear blue, and the overall scene conveys a sense of isolation and environmental fragility.



▲ EIS UND SCHNEE REFLEKTIEREN DIE SONNENSTRAHLEN SEHR STARK. DARUM ERWÄRMEN SICH EISIGE REGIONEN NUR SEHR LANGSAM. (FOTO: A. GERDES, MARUM)

▼ ANALYSE VON EISBOHRKERNEN AUF GRÖNLAND. DER RAUM WIRD NICHT BEHEIZT, DAMIT DIE WERTVOLLEN UNTERSUCHUNGSOBJEKTE NICHT SCHMELZEN. (FOTO: A. GERDES, MARUM)



»Unser Wissen ist ein Tropfen, was wir nicht wissen, ist ein Ozean.«

ISAAC NEWTON (1643-1727), ENGL. PHYSIKER, MATHEMATIKER U. ASTRONOM

ES WIRD WÄRMER AUF DER ERDE, darüber besteht kein Zweifel – aber wie viel und wie schnell? Zahlreiche Faktoren wirken hier zusammen, hemmen oder verstärken einander. Wissenschaftler können die Kälteeinbrüche und Wärmeperioden in der Geschichte unseres Planeten bisher nur unvollkommen erklären. Noch größer wird die Unsicherheit, wenn es gilt, die künftige Entwicklung vorherzusehen. Und überall spielt Wasser eine entscheidende Rolle.

Als riesige Wärmepumpe transportiert es am Äquator aufgenommene Son-

nenenergie bis in die Polarregionen. Als Spiegel aus Schnee und Eis reflektiert es Sonnenstrahlung ins Weltall zurück. Als Wasserdampf in der Atmosphäre hüllt es die Erde in einen wärmenden Mantel. Als ozeanischer Lebensraum von Planktonalgen bindet es große Mengen des Treibhausgas Kohlendioxid. Wie diese widersprüchlichen Einflüsse miteinander und mit anderen Faktoren – etwa Schwankungen in der Sonneneinstrahlung oder einer veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre – zusammenwirken, simulieren Forscher in immer komplexeren Computermodellen.

> Spuren im Schnee von gestern

Damit lässt sich beispielsweise nachvollziehen, wie die Meeresströmungen zwischen Äquator und Nordpolarmeer während der Eiszeit verliefen. Und warum mitten in diesen Kälteperioden manchmal die Heizung ansprang. Seit Wissenschaftler gelernt haben, in den Klimaarchiven der Erde zu lesen, wundern sie sich über die Kapriolen, die dort gelegentlich verzeichnet sind. Ein solcher Almanach ist etwa das Eis auf Grönland. Schicht für Schicht lagert hier der Schnee aus mehr als hunderttausend Jahren übereinander. Mit tiefen Bohrungen lässt sich daraus die Klimageschichte erschließen. So sind die jährlichen Niederschlagsmengen zu erkennen, und die im Eis eingeschlossenen Luftbläschen erzählen etwas

✓ EIN EISKEIL-ABBRUCH IN SIBIRIEN.
(FOTO: AWI)



Archiv im Dauerfrost

Erst war da nur ein haarfeiner Riss im Dauerfrostboden. Im Frühjahr sickerte Wasser ein, gefror und dehnte den Spalt ein wenig. Im nächsten Jahr kam neues Schmelzwasser hinzu, die Eisader wuchs. Nach mehreren hunderttausend Jahren ist daraus ein mächtiger Eiskeil geworden, um die 40 Meter lang und bis zu sechs Meter dick. Ganze Netzwerke solcher Eispfeile im Körper der Erde prägen in einigen Teilen Sibiriens die Landschaft. Für Wissenschaftler sind sie eine spannende Wetterchronik. Denn das Eis ist vom Klima geprägt: Seine Moleküle bestehen aus unterschiedlich schweren Atomen (Isotopen). Die leichten verdunsten schon bei niedrigen Temperaturen, die schweren erst, wenn es wärmer wird. Und so gibt der Isotopen-Mix jeder Schicht Auskunft über das Klima in ihrem Geburtsjahr.

über die Atmosphäre zu der Zeit, als diese Luft noch lockeren Neuschnee umgab.

Das Ergebnis: Mitten in den Eiszeiten stieg die mittlere Temperatur gelegentlich an – innerhalb eines Jahr-

zehnts um durchschnittlich bis zu zehn Grad – und sank erst nach einigen hundert Jahren wieder auf das eiszeitliche Normalmaß. Erst neueste Klimamodelle konnten diese Phänomene erklären: Unregelmäßigkeiten in der atlantischen Fernheizung sorgten für die Hitzewallungen.

> Das warme Fließband

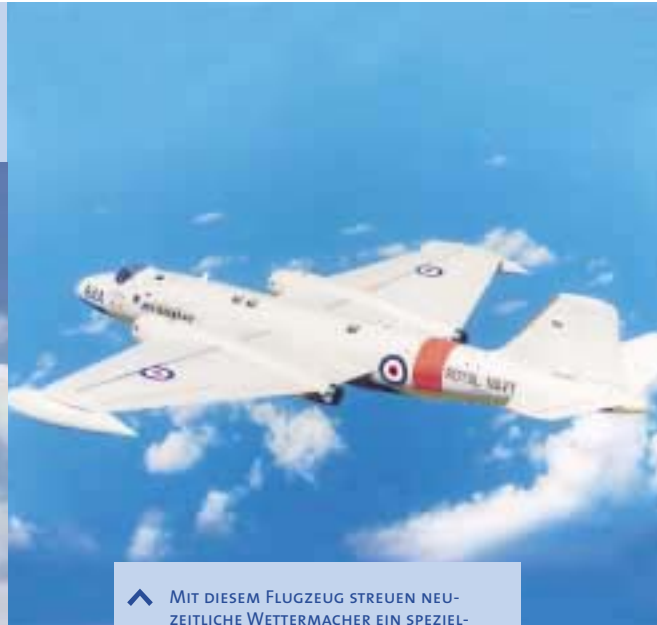
Wie heute gab es auch während der letzten Kaltzeit eine besonders salzhaltige Meeresströmung, die aus äquatorialen Breiten Wärme gen Norden brachte. Allerdings versiegte der Wärmestrom – anders als heute – normalerweise schon ein gutes Stück südlich von Island. Dort gab er seine Wärme an die Luft ab. Das Wasser wurde dadurch schwerer als das umgebende Meer und sank zum Grund. Als kalte Tiefenströ-

mung floss es zurück nach Süden. Nördlich dieser Wendestelle begann das Eismeer. Doch dieser Normalzustand war offenbar sehr instabil. Schon kleine Abweichungen, vermutlich Schwankungen in der Sonneneinstrahlung, lösten einen erheblichen Klimasprung aus. Zunächst verringerte sich der Süßwasserzufluss von den Gletschern. So konnte die warme, salzhaltige Strömung an Island vorbei nach Norden vordringen und ließ dort das Meereis schmelzen – die ganze Region erwärmte sich. Manchmal schlug das Pendel auch in die andere Richtung aus: Die warme Strömung brach völlig zusammen, Eiseskälte machte sich auch im Süden breit. Die Klimaschwankungen waren damit weit größer als die Variation in der Sonneneinstrahlung – diese wirkte wie ein »Schalter« für die Fernheizung.



▲ PALMEN IN EINEM PARK IN DER NÄHE VON BRIGHTON. DAS KLIMA AN DER ENGLISCHEN SÜDKÜSTE IST DURCH DEN NAHEN GOLFSTROM BESONDERS MILD. (FOTO: MAURITIUS)

✓ WASSERDAMPF IST FÜR DEN GRÖSSTEN TEIL DES NATÜRLICHEN TREIBHAUSEFFEKTS VERANTWORTLICH. (FOTO: F. OSSING, GFZ-POTS DAM)



⤴ MIT DIESEM FLUGZEUG STREUEN NEUZEITLICHE WETTERMACHER EIN SPEZIELLES PULVER ÜBER WOLKEN AUS, UM DEREN FEUCHTIGKEIT ZU BINDEN. (FOTO: DYN-O-MAT INC., RIVIERA BEACH)

Wetter zum Selbermachen

»Alle reden vom Wetter, aber keiner unternimmt was dagegen«, bemerkte einst Mark Twain. Dabei wurde es oft genug versucht. Ob bei Kelten, Indianern oder Buschmännern – Regenzauber spielt in vielen Kulturen eine wichtige Rolle. Der Traum vom selbstgemachten Wetter verbindet archaische Mythen mit aktueller Technologie. So erprobt eine US-Firma derzeit ein Pulver, das Wolken verschwinden lässt. Vom Flugzeug ausgestreut bindet es Feuchtigkeit und sinkt in Form von Gel-Klümpchen zu Boden. So sollen Wirbelstürme zu bremsen sein, hoffen die Erfinder.

weitem wichtigste Bestandteil dieses wärmenden Mantels meist unerwähnt – der **Wasserdampf**. Er aber ist für den größten Teil des natürlichen Treibhauseffektes verantwortlich. Inzwischen mehrten sich die Anzeichen, dass Wasserdampf auch bei der menschengemachten Klimaveränderung eine erhebliche Rolle spielt. Denn der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre steigt – in mittle-

Heute ist die weit nach Norden reichende warme Strömung aus dem Atlantik der Normalzustand und allseits als Golfstrom bzw. als Nordatlantikstrom bekannt, der bis hinauf an die Westküste Spitzbergens heranreicht. Er beschert uns etwa fünf Grad **höhere Temperaturen**, als sie Kanadiern vergönnt sind, die auf der gleichen geographischen Breite leben. Doch Wissenschaftler schließen nicht aus, dass auch dieses Strömungssystem eines Tages umkippen könnte – etwa durch die vom Menschen verursachte Erwärmung der Atmosphäre.

> Dampf im Treibhaus

Die Erde heizt sich schneller auf, als zunächst angenommen, darauf wies Anfang 2001 der Klimabericht der Vereinten Nationen hin. Eine Ursache der Erwärmung ist der zunehmende Koh-

lendioxidgehalt der Atmosphäre, der seit Beginn der Industrialisierung um rund ein Drittel anstieg.

Längst erregt daher der so genannte Treibhauseffekt weltweit Besorgnis. Ganz ohne ihn wäre es allerdings recht ungemütlich auf unserem Planeten: Die Temperaturen auf der Erdoberfläche würden um 33 Grad sinken, wenn die schützende Gashülle nicht wäre. Sie lässt einerseits das Licht der Sonne ungehindert passieren; die so genannten Treibhausgase in der Atmosphäre sorgen andererseits dafür, dass die von der Erde und den unteren Luftschichten abgestrahlte Wärme zu einem großen Teil absorbiert und zur Erde zurückgeworfen wird.

Doch während vom Kohlendioxid (CO₂) allenthalben die Rede ist, bleibt der bei

✓ DIE WELTMEERE BILDEN RIESIGE SENKEN, IN DENEN DAS TREIBHAUSGAS KOHLENDIOXID GEBUNDEN WIRD. (FOTO: A. GERDES, MARUM)



Müllschlucker im Treibhaus

Wasser spielt eine Doppelrolle im Treibhaus Erde. Einerseits ist Wasserdampf selbst ein Treibhausgas. Andererseits schlucken die Ozeane große Mengen CO_2 und wirken so der Erwärmung entgegen. So sinken kalte Meeresströmungen – wie etwa in der Grönlandsee oder im antarktischen Weddellmeer – ab und transportieren dabei gelöstes CO_2 in die Tiefe. Außerdem binden Algen und Bakterien im oberen, lichtdurchfluteten Stockwerk der Meere bei der Photosynthese CO_2 . Ein Teil des Kohlenstoffs (»C«) sinkt dann mit absterbenden Mikroorganismen als so genannter »Meeresschnee« zum Grund und wird damit für Jahrhunderte aus dem Verkehr gezogen. Fast 30 Prozent des durch menschliche Aktivitäten produzierten CO_2 landet in diesem »Müllschlucker«.

ren Breiten in der unteren Stratosphäre etwa um ein Prozent jährlich während der letzten 45 Jahre.

Als ein Zulieferer gilt dabei das in der Landwirtschaft reichlich erzeugte Me-



▲ BRUCHSTÜCKE VON »LARSEN B«, VOM SATELLITEN AUS GESEHEN. URSPRÜNGLICH WAR DIE HIER ZU ERKENNENDE BUCHT VON DER GRÖSSE DES SAARLANDES VOLLSTÄNDIG MIT EINER DURCHGEHENDEN EISSCHICHT BEDECKT. IM MÄRZ 2002 BRACH DAS EIS – TAUSENDE KLEINER UND GROSSER EISBERGE ENTSTANDEN. (FOTO: NASA)

thangas. Im ultravioletten Sonnenlicht entstehen aus jedem Methanmolekül zwei Moleküle Wasser. Auch der CO_2 -bedingte Temperaturanstieg erhöht die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre, da diese bei wärmeren Temperaturen mehr Wasser aufnehmen kann. Doch wie groß die Effekte wirklich sind, ist noch unklar. Die nur unvollkommen verstandene Rolle des Wasserdampfs ist eine Hauptursache dafür, dass die globalen Klimavorhersagen so wenig genau sind.

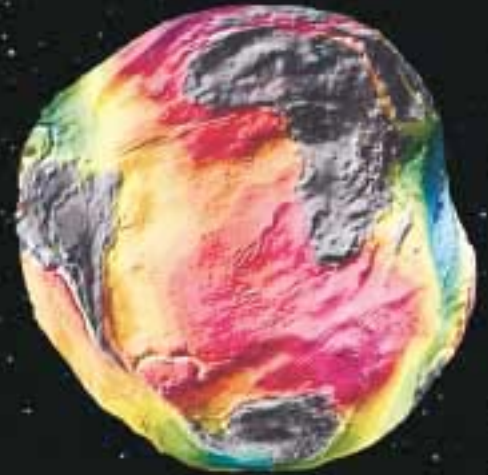
> Land unter

Wird der Meeresspiegel am Ende dieses Jahrhunderts um 9 Zentimeter höher liegen als heute oder vielleicht um 90? Die Prognosen lassen weite Spielräume. Für Küstenländer, die bereits jetzt häufig unter Überschwem-

mungen leiden, ist es kein Trost zu wissen, dass die Erdgeschichte schon ganz andere Schwankungen gesehen hat. Auf dem Höhepunkt der letzten Eiszeit – vor 18.000 Jahren – hätte man trockenen Fußes vom kontinentalen Asien nach Indonesien gelangen können, der Meeresspiegel lag 125 Meter tiefer als heute.

Schon die Erwärmung der Erde um ein Grad in den vergangenen hundert Jahren ließ das Wasser merklich ansteigen: Zwei bis sieben Zentimeter kamen dadurch zustande, dass das Oberflächenwasser der Ozeane sich durch die Wärme ausdehnte. Bis zu fünf Zentimeter trugen schmelzendes Inlandeis und Gletscher bei. Dabei wirken sich nur die Eismassen aus, die zuvor auf einem Landsockel lagerten. Wenn **Meereis** schmilzt, lässt das den Wasserspiegel

▼ DIE SPITZE DES EISBERGS. SCHWIMMENDES EIS VERDRÄNGT GENAU-SOVIEL VOLUMEN, WIE FLÜSSIGES WASSER VOM GLEICHEN GEWICHT EINNÄHME. DESHALB FÜHRT DAS SCHMELZEN VON MEEREIS NICHT ZU EINER ERHÖHUNG DES WASSERSPIEGELS. (FOTO: OKAPIA)



▲ DIE ERDANZIEHUNG IST NICHT ÜBERALL GLEICH. IN 15.000FACHER ÜBERHÖHUNG ÄHNELT DAS SCHWEREFELD DER ERDE EHER EINER KARTOFFEL. (FOTO: GFZ-POTS DAM, MONTAGE MIT STERNENHINTERGRUND: IUS)

unbeeindruckt – selbst wenn es so große Brocken sind wie »Larsen B«, eine 720 Milliarden Tonnen schwere, schwimmende Eisscholle von der Größe des Saarlandes, die sich im März 2002 von der Antarktischen Halbinsel löste und in Tausende Stücke zerbrach.

> Wie Eis in der Cola

Denn auch in diesen Dimensionen gilt, was sich in jeder eisgekühlten Cola beobachten lässt: Ein bis zum Rand gefülltes Glas, aus dem ein Eiswürfel ragt, läuft nicht über, wenn das Eis schmilzt. Denn **schwimmendes Eis** verdrängt bekanntlich genau so viel Volumen, wie flüssiges Wasser vom gleichen Gewicht. Taut dagegen Eis, das auf Landmassen ruht, steigt der Wasserspiegel – wer Eis oder Wasser ins bereits randvolle Glas tut, bringt es zum Überlaufen.

Würden sich alle Gebirgsgletscher auflösen, wäre ein Anstieg des Meeresspiegels um knapp einen halben Meter die Folge. Das Eis der Antarktis ließe zu Wasser zerlaufen den Wasserstand weltweit um mehr als 70 Meter steigen.

Auch wenn dies so bald nicht zu erwarten ist – zumindest Teile der Antarktis erwärmen sich, wie der Zerfall des Larsen-Schelfs deutlich macht. Auch im Nordpolarmeer sind die Folgen des Klimawandels zu beobachten: Um 40 Prozent wurde das Eis dort in den vergangenen 25 Jahren dünner. Zwar verkürzt sich dadurch vielleicht bald der Weg von Europa nach Japan – die bisher extrem gefährliche Nordostpassage an der Nordküste Russlands entlang wird immer besser schiffbar. Doch besteht wohl kein Zweifel, dass die negativen Effekte der Erderwärmung über-

Verbeulte Weltmeere

Ganz und gar nicht spiegelglatt ist der Meeresspiegel: Die Weltmeere weisen allerlei Beulen und Vertiefungen auf. Ursache ist die ungleich verteilte Masse und damit die von Ort zu Ort unterschiedliche Anziehungskraft der Erde. Auch Wind und Wasserwirbel lassen Wasserberge und -täler entstehen. Eine tiefe Delle liegt beispielsweise vor der Südspitze Indiens, ein Buckel nördlich von Australien – der Höhenunterschied zwischen beiden Wasserflächen beträgt fast 200 Meter.

wiegen. Die Zunahme von extremen Wetterlagen wie Dürren, Überschwemmungen und Stürmen ist nur die am sichersten vorhersehbare Auswirkung. Kaum kalkulierbar sind die Folgen, wenn das System der Meeresströmungen sich verändern würde. Und niemand weiß, welcher Tropfen dieses Fass zum Überlaufen bringt.

✓ DAS LEBEN KOMMT AUS DEM WASSER, DARÜBER BESTEHT KEIN ZWEIFEL. WANN UND WO GENAU ES AUFTAUCHTE, LIEGT ABER IMMER NOCH IM DUNKELN. DIESE BEIDEN HIER INTERESSIERT DIE FRAGE VERMUTLICH NICHT BESONDERS – SIE HABEN WICHTIGERES ZU TUN. (FOTO: A. GERDES, MARUM)



Die Quelle des Lebens

»Wasser,... man schmeckt dich, ohne dich zu kennen. Es ist nicht so, dass man dich zum Leben braucht; du selber bist das Leben!«

ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY; AUS: WIND, SAND UND STERNE

ZEUGEN GAB ES KEINE. Daher ist die Frage nach dem Ursprung des Lebens nach wie vor offen. Ob sich die ersten Bausteine des Lebens in einem seichten, nur bei Flut überspülten Tümpel zusammenfanden, in dem sich durch Verdunstung organische Moleküle aus dem Seewasser angereichert hatten? Ob das Leben sich in ei-

ner heißen Quelle am Meeresgrund zusammen braute? Auch ein Import aus dem All scheint nicht ausgeschlossen: Als Wissenschaftler kürzlich die Entstehungsbedingungen von Kometen im Labor nachahmten, entstanden auf eisumhüllten Staubpartikeln gleich 16 verschiedene Aminosäuren – also Bausteine von Eiweißen.

> Der Urvater und die Schildkröte

Die wissenschaftlichen Theorien zum Ursprung des Lebens liegen damit ähnlich weit auseinander wie etwa die biblische Schöpfungsgeschichte und die indianische Vorstellung, die Erde sei auf dem Rücken einer Schildkröte entstanden. Doch weder Mythos noch Wissenschaft kommen ohne ein lebensspendendes Element aus – das Wasser. Da schwebt am Anbeginn der Welt der Geist Gottes über den Wassern, und die Schildkröte taucht aus einem Ozean auf, der noch vor allem Land vorhanden ist. Im mesopotamisch-



^ KEIN FINGERZEIG GOTTES, SONDERN NUR DER KOMET HALE-BOPP, AUFGENOMMEN 1997 IM JOSHUA TREE NATIONALPARK IN KALIFORNIEN. KOMETEN SIND NICHTS ANDERES ALS »SCHMUTZIGE SCHNEEBÄLLE« AUS EIS UND SAND, DIE VON DER SONNE ERWÄRMT WERDEN UND DESHALB EINEN GLITZERNDEN STAUBSCHWEIF HINTER SICH HERZIEHEN. MIT IHNEN KÖNNTE DAS LEBEN VOM WELTRAUM AUF DIE ERDE GEKOMMEN SEIN. (FOTO: W. PACHOLKA, NASA)

babylonischen Schöpfungsmythos »Enma Elisch« entstehen die ersten Götter aus der Vereinigung des Urvaters Apsu – als Süßwasserstrom gedacht – mit der Urmutter Tiamat, dem personifizierten Salzwasser.

Die Wissenschaft sieht es nüchterner: Wasser diene als Lösungsmittel, in dem die verschiedenen Grundbausteine des Lebens entstehen und zueinander kommen konnten – ob nun im urzeitlichen Tümpel, in der Tiefsee oder auf einem **Kometen**. Bis heute ist eine wässrige Umgebung für alle biochemischen Reaktionen unabdingbar. Auch die Lebewesen, die später das Festland eroberten, tragen ihre Portion der »Ur-suppe« mit sich: Das Gefäßsystem der Landpflanzen und das Blutgefäßsystem der Tiere sorgen dafür, dass auch

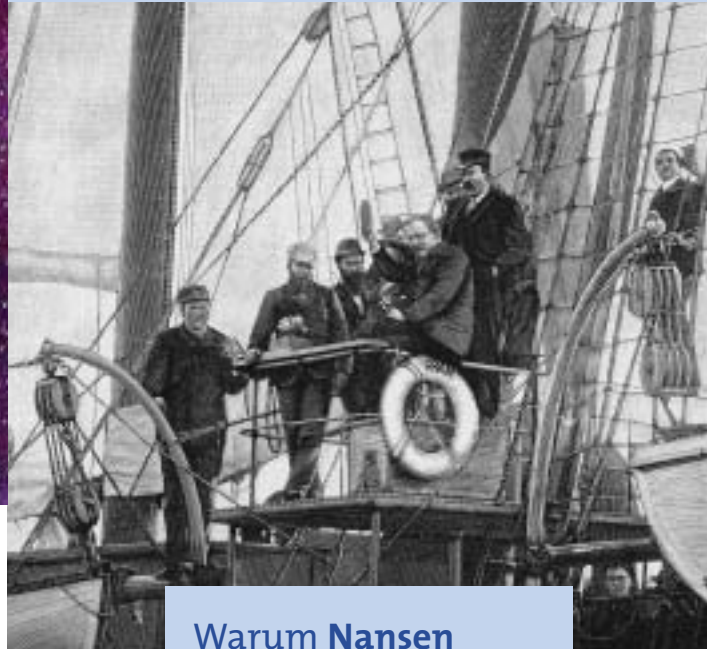
»Landratten« nie ganz auf dem Trockenen sitzen. Zwar können zum Beispiel Pflanzensporen oder die Eier des Urzeitkrebsschens *Triops cancriformis* jahrelange Dürreperioden überstehen. Doch – no water, no sex – für Wachstum und Fortpflanzung müssen auch sie auf feuchtere Zeiten warten.

> Das blaue Gold

Auf ausreichend Wasser angewiesen ist auch der Mensch – und hier sind die zwei bis drei Liter, die wir täglich zum Trinken und Kochen benötigen, noch das Wenigste. Etwa 70 Prozent des



▼ FRIDTJOF NANSEN (1861 – 1930) UND SEINE MANNSCHAFT AUF DER „FRAM“ ZU BEGINN EINER EXPEDITION INS NORDPOLARMEER IM JAHR 1893. (HOLZSTICH NACH FOTOGRAFIE: AKG-IMAGES, BERLIN)



Warum Nansen nicht verdurstete

Jeder, der einschlägige Abenteuerbücher gelesen hat, weiß: Schiffbrüchige, die Meerwasser trinken, kommen elendig um. Der Polarforscher Fridtjof Nansen und seine Gefährten dagegen tranken bei ihrer Expedition Richtung Nordpol Wasser aus geschmolzenem Meeris – ohne jeden Schaden. Denn beim Gefrieren trennen sich Salz und Wasser. Nansen erläutert in seinen Erinnerungen »In Nacht und Eis«: »Der über der Oberfläche des Meeres befindliche Theil des Seewassereises..., der während des Sommers den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen ist, wird von dem größeren Theile seines Salzgehaltes befreit, indem die Salzlake nach und nach durch die Poren des Eises versickert; solches Eis liefert daher ausgezeichnetes Trinkwasser.«

◀ DAS »URZEITKREBSCHEN« *TRIOPS CANCRIFORMIS* LEGT EIER, DIE JAHRELANGE DÜRREPERIODEN ÜBERSTEHEN KÖNNEN. ES LEBTE AUCH SCHON IM TRIAS, ALSO VOR MEHR ALS 200 MILLIONEN JAHREN. (FOTO: WWW.URZEITKREBS.DE)



✓ EIN TAG AM POOL. WASSER IM ÜBERFLUSS MACHT „WELLNESS“ ERST MÖGLICH. (FOTO: EUGEN KEIDEL BAD, FREIBURG)



Heilsames Wasser

Im 17. Jahrhundert galt Wasser als höchst ungesund. Es könne beim Waschen über die Haut in den Körper eindringen, befürchtete auch der »Sonnenkönig« Ludwig der XIV. und kaschierte die Folgen dieser Angst mit Unmengen von Parfum und Lavendelpulver. Heute dagegen wird Wasser innerlich wie äußerlich als Heilmittel eingesetzt. So verbessert beispielsweise Kohlensäure im Wasser die Durchblutung, salzhaltige Solebäder lindern die Beschwerden bei Hautkrankheiten, oder, als feiner Sprühnebel inhaliert, bei Asthma. Und nicht zuletzt ist Wasser *das* Element der Wellness-Anhänger, die in Saunen und Whirlpools Ruhe, Entspannung und ein neues Körpergefühl suchen.

weltweit entnommenen Süßwassers verbraucht die Landwirtschaft, hauptsächlich für die Bewässerung; etwa ein Fünftel fließt in die Industrie. In den letzten hundert Jahren hat sich die Menge des Wassers, die von Menschen



▲ IN KRÜGEN UND KANISTERN TRANSPORTIEREN BÄUERINNEN AUS DER NORD-ÄTHIOPISCHEN PROVINZ TIGRAY DAS WASSER FÜR DEN TÄGLICHEN BEDARF. (FOTO: DPA)

genutzt wird, versechsfacht. Dennoch wird weltweit nur ein Zehntel der erneuerbaren Wasservorräte angezapft. Doch das kostbare Nass ist eben höchst ungleich verteilt: Dünn besiedelte Landstriche wie Kanada oder das Amazonasbecken sind überreichlich damit gesegnet, in Nordafrika dagegen werden bereits heute 95 Prozent aller Wasser-Ressourcen genutzt.

Doch die Ungerechtigkeit der Natur ist keineswegs an allem Schuld – es mangelt vor allem am klugen und gerechten Umgang mit dem mancherorts so knappen Lebenselixier. Zwar wurden während der neunziger Jahre etwa 15 Milliarden US-Dollar jährlich investiert, um Trinkwasserversorgung und Abwassersysteme in Afrika, Asien und Latein-

amerika zu verbessern. Doch fast zwei Drittel davon kamen den Städten zugute, während mehr als 80 Prozent der Menschen, die unter Wassermangel leiden, in ländlichen Gebieten leben. Es wird damit gerechnet, dass im Jahr 2020 in 50 Ländern ernster Wassermangel herrschen wird. Schon heute läuft jede auf dem Lande lebende [Afrikanerin](#) durchschnittlich sechs Kilometer am Tag, um Trinkwasser zu beschaffen.

› Stern mit Wasserspülung

Und nicht nur die Menge, auch die Qualität des Wassers lässt in vielen Ländern zu wünschen übrig: Mehr als eine Milliarde Menschen verfügt nicht über sicheres Trinkwasser, für zweiein-

✓ DER AUFWAND FÜR DIE ABWASSERREINIGUNG IN DEN INDUSTRIELÄNDERN IST HOCH: MEHRERE MECHANISCHE UND BIOLOGISCHE REINIGUNGSBECKEN SORGEN DAFÜR, DASS DAS WASSER AM ENDE UNBEDENKLICH IN FLÜSSE UND SEEN GELEITET WERDEN KANN. (FOTO: BERLINER WASSERBETRIEBE)



▲ DURCH VERWITTERUNG VON PYRIT EXTREM ÜBERSÄUERTER SEE IN EINEM BRAUNKOHLE-REVIER. (FOTO: UFZ - UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE)

Sauer ist nicht lustig

Grundwasser ist in Deutschland keine Mangelware, es wird zehnmal so viel neu gebildet wie entnommen. Probleme gibt es dennoch: Vielerorts wurden Schadstoffe wie Nitrat oder Pestizide im Grundwasser entdeckt. Besondere Gefahren entstehen durch den Braunkohle-Tagebau, denn dabei können schwefelhaltige Gesteine an die Oberfläche kommen, vor allem das Mineral Pyrit (FeS_2). In Verbindung mit Luft-sauerstoff beginnt es zu verwittern. Das unwillkommene Abfallprodukt ist Schwefelsäure. Beschleunigt wird dieser Prozess durch Bakterien, die Sulfid oxidieren. Sie fühlen sich in der entstehenden sauren Brühe wohl – im Gegensatz zu den meisten anderen Organismen. Die Schwefelsäure sickert zum einen ins Grundwasser, zum anderen erschwert sie die Rekultivierung der Kohlereviere: In den neugeschaffenen Seen ist es Fischen und anderen Lebewesen oft viel zu sauer.

halb Milliarden gibt es keine hygienisch akzeptablen Abwassersysteme. Die Folgen sind bitter: Fünf Millionen Menschen sterben jährlich an Verunreinigungen und Keimen im Trinkwasser, vor allem Kinder fallen den dadurch verursachten Durchfallerkrankungen zum Opfer.

»Ich kann wenig Glanz an einem Weltreich erkennen, das zwar die Wogen regieren, aber seine Abwässer nicht beseitigen kann«, soll der britische Staatsmann Winston Churchill bemerkt haben. Eine Kritik, die auch für die Weltgemeinschaft am Beginn des 21. Jahrhunderts noch gilt – werden doch nur fünf Prozent aller Abwässer **gereinigt**. Die Vereinten Nationen haben auf dem Millenniums-Gipfel im Herbst 2000

ehrgeizige Ziele formuliert: Bis zum Jahr 2015 soll sich die Zahl der Menschen, die keinen Zugang zu sicherem Trinkwasser haben, von 18 Prozent der Weltbevölkerung auf 9 Prozent halbieren. Wohlgemerkt – nicht der ständig sprudelnde Wasserhahn im Haus ist damit gemeint, sondern eine Menge von 20 Litern pro Person und Tag im Umkreis von einem Kilometer. Zum Vergleich: Der Durchschnittsdeutsche verbraucht heute rund 130 Liter täglich, davon etwa fünf Liter als Trinkwasser, siebenmal so viel für die Toilettenspülung. Nur auf einen Teil der Welt trifft eben Erich Kästners Feststellung zu, die Erde sei »ein gebildeter Stern mit sehr viel Wasserspülung.«



Das destruktive Element

^ »DIE GROSSE WELLE VOR KANAGAWA« VON KATSUSHIKA HOKUSAI (1760-1840) STELLT VERMUTLICH EINEN TSUNAMI DAR. (©FOTO: THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART, NEW YORK)

EINEN TAG LANG wehte der Süd-sturm..., eilte dreinzublasen, die Berge ins Wasser zu tauchen« – so beginnt das Unheil in der ältesten Darstellung der Sintflut, im babylonischen Gilgamesch-Epos. Erzählungen von einer Menschen verschlingenden Flut finden sich bei vielen Völkern. Nicht nur Noah rettete sich und die Seinen in der Arche; auch Prometheus' Sohn Deukalion überlebte den Zorn des Göttervaters Jupiter in einem hölzernen Kasten, der auf den Fluten trieb, wie Ovids Verse berichten.

Neuere Forschungsergebnisse lassen es möglich erscheinen, dass die uralten Mythen auf eine reale Katastrophe zurückgehen. Fossilien zeigen, dass sich dort, wo heute das Schwarze Meer liegt, bis vor etwa 7500 Jahren ein Süßwassersee erstreckte, durch eine natürliche Landbarriere vom Mittelmeer getrennt. Als die Eiszeit endete, stieg der

»Jetzo beschloss der Vater, das frevle Geschlecht zu vertilgen unter der Flut, Platzregen vom ganzen Himmel entsendend.« OVID, METAMORPHOSEN 1,4

Meeresspiegel. Schließlich durchbrach das Wasser des Mittelmeers den Damm am Bosphorus, das tiefer gelegene Becken des Sees füllte sich mit einer gewaltigen Flutwelle. Mit der 20fachen Kraft der Niagarafälle ist das Salzwasser hereingebrochen, der Wasserspiegel täglich um 15 Zentimeter gestiegen, ergaben Berechnungen. Den Bauern, die rings um den See gesiedelt hatten, blieb nur die Flucht – und vielleicht die kollektive Erinnerung an dieses gewaltige Naturereignis.

Die zerstörerische Kraft des Wassers ist auch heute noch eine Bedrohung, etwa wenn sich durch Erd- oder Seebe-

ben riesige Wellen – Tsunamis – auftürmen. Anders als gewöhnliche Wellen, die vom Wind verursacht werden und stets nur die oberen Wasserschichten betreffen, reichen Tsunamis bis zum Grund. Mit einer Geschwindigkeit von mehr als 700 Stundenkilometern rasen sie über die Ozeane. Nur wenige Dezimeter hoch, sind sie auf dem offenen Meer kaum wahrnehmbar. Zu ihrer imponierenden Höhe von 50 Metern oder mehr wachsen sie erst im flachen Wasser vor der Küste – daher stammt ihr japanischer Name, der »Hafenwelle« bedeutet. Ein Netz seismischer Sensoren warnt heute im Pazifikraum vor den herannahenden Riesenwellen.

➤ KATHARINA VOIGT (RECHTS) UND MAREIKE ADEN (LINKS) AUF EINER TOUR MIT DEM SCHLAUCHBOOT DURCH NEBEL UND SCHNEE. (FOTOS: M. SEEMANN)



Vier Schüler im Eis

FÜNF WOCHEN LANG WAREN DIE VIER SCHÜLER DES GYMNASIUMS ULRICIANUM UND DER BERUFSBILDENDEN SCHULE IN AURICH AUF DER POLARSTERN UNTERWEGS. KATHARINA VOIGT, FADI RAMADAN, MARKUS SEEMANN UND MAREIKE ADEN ERKUNDE- TEN IM RAHMEN DES PROJEKTS »AURICHER WISSENSCHAFTSTAGE« AUF DIESEM FORSCHUNGSSCHIFF DIE ANTARKTIS. EIN ETWAS ANDERES SCHULPRAKTIKUM...

SCHNEEFLOCKEN und Wassertropfen spritzen in mein kaltes Gesicht und der Motor des Schlauchbootes dröhnt in meinen Ohren. Obwohl ich von Kopf bis Fuß in einen Überlebensanzug eingemummt bin, fühlen sich vor allem Zehen und Hände bereits nach wenigen Minuten merkwürdig taub an. Ein letzter Blick über die Schulter, und die Polarstern, die in beinahe majestätischer Gelassenheit in dieser Wüste aus Wasser liegt, verschwindet im Flockennebel. Seit wir vor vier Wochen in Punta Arenas an Bord gingen, ist es das erste Mal, dass wir unser Schiff wieder von außen sehen. Zuge-

geben – ein etwas mulmiges Gefühl macht sich in mir breit, als mir bewusst wird, die sicheren Stahlwände der Polarstern gegen ein motorisiertes Schlauchboot eingetauscht zu haben. Es soll uns zu einer amerikanischen Forschungsstation in der Admiralty Bay bringen. Zusammengekauert in eine Ecke betrachte ich die hauchdünnen Eisblättchen auf dem erstaunlich türkis aussehenden Wasser und die bläulich-weiß schimmernde, haushohe Eiskante, die schließlich vor unseren Augen aus dem Nichts auftaucht. Derart versunken in den Anblick von Pinguinen und Robben, die ab und zu ihren

Kopf aus dem Wasser heben, nur um sofort wieder abzutauchen, überhöre ich die Stimmen der anderen. Gesprächsfetzen wie »zu viel Nebel« und »vorbeigefahren« dringen durch den Lärm des Motors und des Fahrtwinds schließlich auch zu mir. Es hilft nichts: Wir müssen umkehren. Als ich zwanzig Minuten später mit klammen Fingern und einiger Mühe die Strickleiter hinauf zurück an Bord klettere, bin ich irgendwie erleichtert. Nicht nur, den Ausflug durch Schnee und Nebel heil überstanden zu haben, sondern auch darüber, dass der Mensch, allen Fortschritts zum Trotz, noch nicht Herr über die Antarktis und die dortigen Bedingungen geworden ist.

Mareike Aden

www.planeterde.de

Medienpartner:



WDR



3sat

